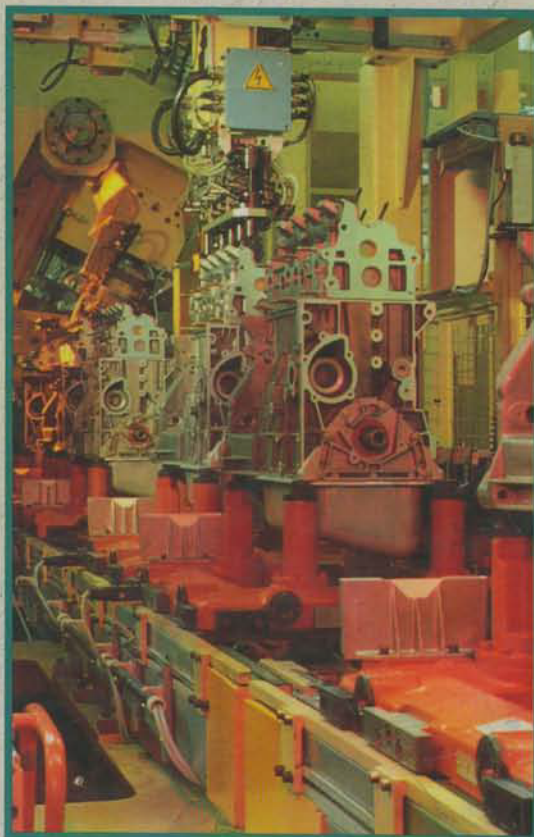


A. CHEVALIER
J. BOHAN

GUIDE DU

TECHNICIEN EN PRODUCTIQUE



<http://www.coursgeniemecanique.com>



HACHETTE
Technique

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Table des matières

Étude de la pièce

1	Préparation d'une production	6
2	Prises de pièces	7
3	Symbolisation géométrique	9
4	Symbolisation technologique	15
5	Symbolisation d'un palp	20
6	Aménagement de la pièce	21
7	Dispersion dimensionnelles	22
8	Cotes de réglage	24
9	Transfert de cotes	26
10	Transferts géométriques	31
11	Cotes et tolérances des bruts	35
12	Choix des surfaces de départ	39
13	Méthodes de fabrications	42
14	Étude de fabrication	43
15	Processus particuliers	45
16	Contraintes d'usinage	48
17	Cotes fabriquées	52
18	Contrat de phase prévisionnel	60
19	Étude de phase	63

Étude du porte-pièce

20	Éléments de mise en position	70
21	Prépositionnement	77
22	Centreurs fixes	78
23	Montages entre-pointes	80
24	Serrages concentriques	81
25	Répartiteurs	87
26	Extracteurs	89
27	Vis et écrous de maintien	90
28	Étaux	93
29	Brides	94
30	Brides pivotantes	97
31	Maintien par coins	98
32	Système modulaire	101
33	Serrages simultanés	109
34	Vérins - Poussoirs	111
35	Maintien magnétique	115

36	Limiteurs de serrage	117
37	Entraîneurs	118
38	Appuis secondaires	120
39	Guides de perçage et d'alésage	122
40	Cônes - Rainures à T	124
41	Indexage	126

Moyens de fabrication

42	Géométrie de l'outil	127
43	Axes normalisés	130
44	Tournage	131
45	Perçage	149
46	Alésage	158
47	Fraisage	167
48	Filetage	180
49	Rectification	187
50	Rodage - Superfinition	191
51	Brunissage	193
52	Brochage	195
53	Électro-érosion	199
54	Lubrification	201

Vérification

55	Dureté	202
56	Références simulées	203
57	Mesure en coordonnées	205
58	Vérification dimensionnelle	215
59	Vérifications géométriques	222

Productique

60	Méthode des dispersions	230
61	Commande numérique	240
62	Programmation géométrique de profil	260
63	Systèmes flexibles d'usinage	262
64	Démarche productique	264
65	Technologie de groupe	265
66	P.E.R.T.	268
67	Gantt	270
68	Lot économique	271
69	Rugosité des surfaces	272

Photographie de couverture : Ligne de production de carter moteur (Citroën).

Les photographies non référencées sont des clichés Hachette-Photo Landin.

Index alphabétique

Ajustements	220	Conditions d'usinage :		Diamètre nominal (filetage)	180
Alésage	158	— Alésage (à l'alésoir)	159	Dispersions Δ I	230
Alésoirs cylindriques	160	— Alésage (outil d'enveloppe) ..	162	Dispersions dimensionnelles	22
Alésoirs cylindriques creux	161	— Brochage	198	Douille de perçage	122
Aménagement de la pièce	21	— Brunissage	193	Durée de vie d'un outil	148
Angles des outils	127-131	— Électro-érosion	199	Dureté	202
Appuis	70	— Filetage	184		
Appuis secondaires	120	— Fraisage	178-179	Écart normalisés	220
Aptitude d'un procédé	22	— Galetage	194	Écrous de maintien	90
Arbre porte-alésoir	161	— Perçage	155	Efforts de coupe :	
Arrosage	201	— Rectification	189	— Fraisage	177
Avant-projet d'étude		— Rodage	191	— Perçage	156
de fabrication	44	— Superfinition	192	— Tournage	146
Axes normalisés	130	— Taraudage	185	Éjecteurs	89
		— Tournage	142-145	Électro-érosion	199
Barre d'alésage		Cônes d'emmanchement	124	Éléments modulaires	101
(outil micrométrique)	165	Contraintes de fabrication	48	Engagements	77
Bec d'un outil	131	Contraintes d'usinage	48	Entraîneurs	118
Boulons à œil	92	Contrat de phase	60	États de surface	272
Brides	94-97-108	Contrôle dimensionnel	215	Étaux	93
Brochage	195	Copeau minimal	52	Étude de fabrication	43
Brunissage	193	Cotation des bruts	35	Étude de phase	63
		Cote-condition	26-28	Étude de temps	64
Calcul des cotes fabriquées	52	Cote de brut	35-52	Excentriques	99
Calcul des temps	64	Cote de liaison au brut	35-39	Expansibles	82
Cales de réglage	24	Cote de réglage	24	Extracteurs	89
Cames	99	Cote directe	26		
Canons de perçage	122	Cote fabriquée	52	Famille de pièces	265
Canons vissés	88	Courbe ABC	267	Filetage	180
Carbure (nuances)	145	Crampons plaqueurs	98-108	Fonctions G et M	246
Cartouches d'alésage	166	Crochets	97	Forets	150
Centerless	190	Cycle pendulaire	69	Formes obtenues en alésage ...	158
Centres d'usinage	80			Fraisage	167
Centreurs	78	Démarche productique	264		
Chaîne de cotes	26	Delta I	230	Gammes de fabrication	43
Cinq zéros	264	Désignation d'une meule	187	Gammes d'usinage	43
Clé dynamométrique	117	Désignation des outils		Gammes types	45
Codes ISO et EIA	244	à plaquette	135	Gantt	270
Codification CETIM-PMG	266	Droite de Taylor	148	Géométrie des outils	127
Coins de bridage	98	Dessin de phase	60	Grappe	57
Commande numérique .. 184-200-240		Détrompeur	77	Guide de perçage	122

NOTA GÉNÉRAL

■ L'abréviation G.D. suivie d'un numéro signale le chapitre du Guide du dessinateur industriel qui traite de cette question.

Ilot de production	265	P.E.R.T.	268	Simulation d'usinage	53
Incidents d'usinage	147	Perçage	149	Sous-programmes	251
Indexage	126	Perceuse	157	Stock	271
Limiteurs de serrage	117	P.G.P.	258	Superfinition	192
Locating	70	Piges (mesure sur)	217	Surépaisseurs d'usinage	45
Longueur d'arête plaquette	140	Pinces	81	Surépaisseurs pour bruts	35
Lot économique	271	Plans de l'outil en main	127	Surfaces de départ	39
Lubrification	208	Plans de l'outil en travail	128	Surlongueur	21
Lunette	120	Plaquettes carbure :		Symbolisation d'un palpage	20
		— Choix	139	Symbolisation géométrique	9
		— Désignation	138	Symbolisation technologique	15
		— Longueur d'arête	140	Systèmes flexibles d'usinage	262
Machines à commande		Poignées	91	Système modulaire	101
numérique	200-260-262	Pointes d'usinage	80		
Machines à mesurer	205	Porte-outil à aléser	164	Tamppons tangents	99
Magnétique (maintien)	115	Porte-plaquette carbure	136	Tarauds	185
Maintien en position	7	Poussoirs	114	Taylor (droite de)	148
Manettes	91	Précentrage	77	Technologie de groupe	265
Mesure en coordonnées	205	Préparation d'une production ...	6	Temps de fabrication	64
Méthodes de fabrication	42	Prépositionnement	77	Temps manuels	64
Méthodes des dispersions	230	Processus d'industrialisation	6	Temps techno-manuels	64
Méthode vectorielle	29	Profil métrique ISO	180	T.G.A.O.	265
Métrologie tridimensionnelle	210	Programmation géométrique	258	Tolérances des alésoirs	159
Meules de rectification	188	Programmation paramétrée	252	Tolérances des bruts	35
Mise en position	7-9	Puissance absorbée :		Tolérances économiques	52
Mise en position (éléments)	70	— Fraisage	177	Tolérances fondamentales	220
		— Perçage	156	Touches	70
Normales de repérage	11	— Tournage	146	Tournage	131
Nuances de carbure	137			Tour semi-automatique	68
		Rainures à T	125	Transfert de cotes	26
Organisation d'une entreprise ...	6	Rayons de bec	141	Transferts géométriques	31
Orientation (arête d'outil)	128	Rectification	187	Types de fabrication	42
Orienteur	14-18	Références simulées	203		
Outils à aléser (choix)	163	Répartiteurs	87	Unités d'usinage	157
Outils de filetage	181-182	Rodage	191		
Outils de forme (alésage)	159	Rondelles Ringspann	84	Vérification dimensionnelle	215
Outils d'enveloppe (alésage)	162	Rugosité	272	Vérification géométrique	222
Outils de tournage	132			Vérins	111
		Serrage	8	Vérins d'appui	120
Palonniers	74-109	Serrages simultanés	109	Vés.	79-87-105
Palpage	20	Simogramme	68	Vis de maintien	90
Pareto	267				
Pas (filetage)	180				

1 Préparation d'une production

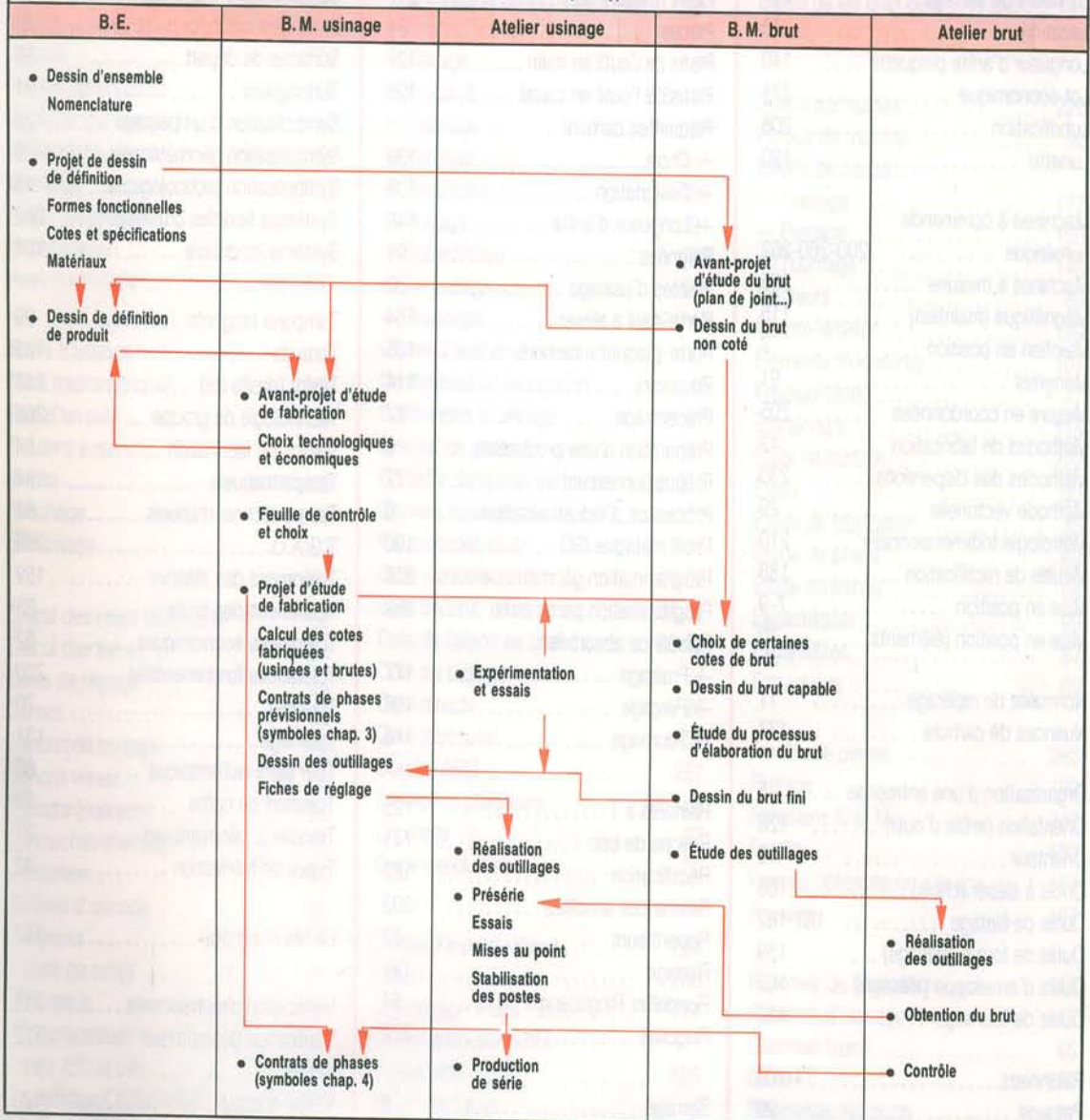
Les services de préparation assurent les liaisons nécessaires entre les services de conception et les services de fabrication. Ils ont pour rôle essentiel d'établir un processus de fabrication en utilisant au mieux les moyens de l'entreprise.

Le processus de fabrication doit respecter notamment :

- la qualité prescrite pour les produits,
- un prix de revient minimal,
- le délai demandé,
- les conditions de travail aussi bonnes que possible.

PROCESSUS D'INDUSTRIALISATION

Ce processus fait suite à l'avant-projet d'étude de conception et à la réalisation du prototype.



* D'après les recommandations de l'Inspection générale.

2 Prises de pièces

2.1 Généralités

Le montage représenté est destiné au tournage de la surface cylindrique **S**.

La forme de cette surface est donnée par le mouvement relatif pièce-outil.

La position de la surface **S** dépend des surfaces de la pièce en contact avec le montage.

La position de la surface **S** est correcte si son axe est compris à l'intérieur d'un cylindre de $\varnothing 0,06$ dont l'axe est défini par les surfaces de référence **Ap** et **Bp** de la pièce.

REMARQUE :

Les surfaces **Ap** et **Bp** constituent un système de références ordonnées* :

- **Ap** est la référence primaire et donne l'orientation de l'axe (l'axe est perpendiculaire au plan **Ap**),
- **Bp** est la référence secondaire et définit la position de l'axe (l'axe passe par le centre du centrage court **Bp**).

2.2 Surfaces en contact

Les surfaces de la pièce, en contact avec le montage sont **Ap**, **Bp** et **Fp**.

- **Ap** et **Bp** assurent la mise en position de la pièce.
- **Fp** reçoit l'effort de maintien en position.

Une prise de pièce est définie si l'on connaît :

- les surfaces qui assurent la mise en position,
- les surfaces qui reçoivent les efforts de maintien en position.

2.3 Mise en position

La pièce en contact avec les surfaces **Am** et **Bm** du montage, conserve un degré de liberté en rotation autour de l'axe **OZ**.

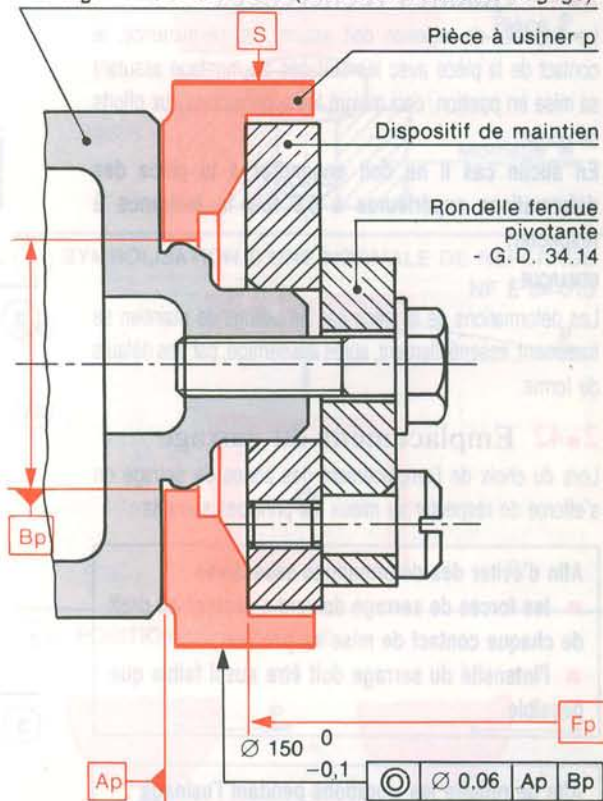
La mise en position a donc éliminé 5 degrés de liberté :

- 3 sont éliminés par la portion de plan **Am**,
- 2 sont éliminés par la portion de sphère **Bm**.

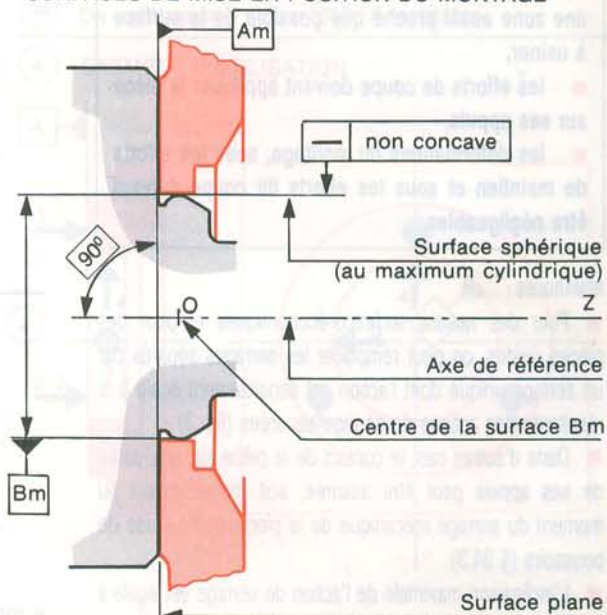
La mise en position d'une pièce est caractérisée par les degrés de liberté qu'elle élimine.

MONTAGE DE TOURNAGE

Montage m lié à la broche (défaut de coaxialité négligé)



SURFACES DE MISE EN POSITION DU MONTAGE



* Voir G.D. 17.3.

2.4 Maintien en position

2.41 Qualités recherchées

Le dispositif de maintien doit assurer, en permanence, le contact de la pièce avec les surfaces du montage assurant sa mise en position, ceci malgré les actions dues aux efforts de coupe.

En aucun cas il ne doit engendrer à la pièce des déformations supérieures à 0,5 fois la tolérance à respecter.

REMARQUE :

Les déformations de la pièce par les actions de maintien se traduisent, essentiellement, après desserrage, par des défauts de forme.

2.42 Emplacement du serrage

Lors du choix de l'emplacement des zones de serrage on s'efforce de respecter au mieux les principes suivants :

Afin d'éviter des déformations excessives :

- les forces de serrage doivent s'exercer au droit de chaque contact de mise en position,
- l'intensité du serrage doit être aussi faible que possible.

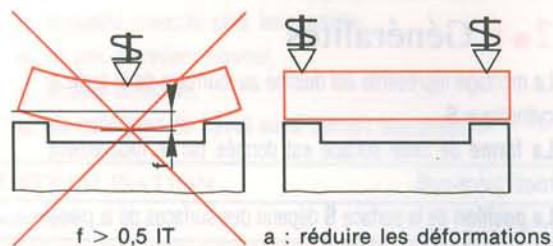
Afin de réduire les vibrations pendant l'usinage :

- les forces de serrage doivent s'exercer dans une zone aussi proche que possible de la surface à usiner,
- les efforts de coupe doivent appliquer la pièce sur ses appuis,
- les déformations du montage, sous les efforts de maintien et sous les efforts de coupe doivent être négligeables.

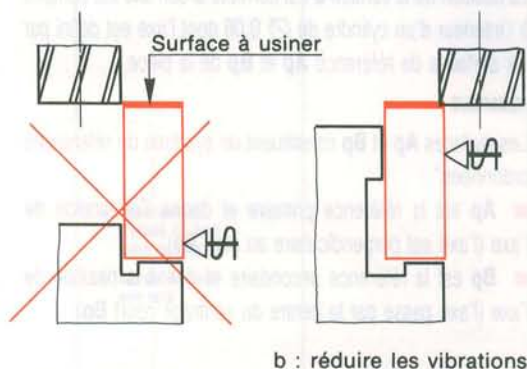
REMARQUES :

- Pour des raisons technico-économiques et pour des pièces rigides, on peut remplacer les serrages séparés par un serrage unique dont l'action est sensiblement égale à la résultante des actions de serrage séparées (fig. 3).
- Dans d'autres cas, le contact de la pièce sur une partie de ses appuis peut être assurée, soit manuellement au moment du serrage mécanique de la pièce, soit à l'aide de poussoirs (§ 34.3).
- L'inclinaison maximale de l'action de serrage est égale à l'angle d'adhérence (fig. 4). Pratiquement $a_{\max} \approx 10^\circ$.

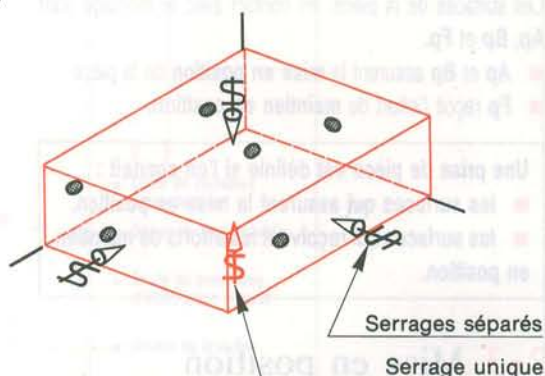
① EMBLACEMENT DU SERRAGE



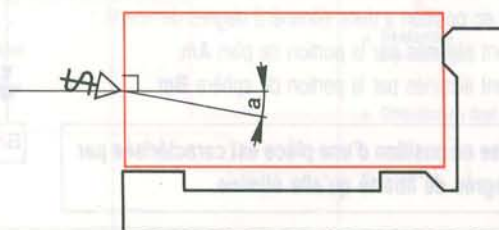
②



③



④



$a_{\max} = \text{angle d'adhérence}$

3 Symbolisation géométrique

Cette symbolisation est utilisée pour l'établissement des projets d'études de fabrication. Elle définit la mise en position géométrique d'une pièce à partir des degrés de liberté éliminés.

3.1 Degré de liberté

À un degré de liberté correspond la possibilité d'un mouvement relatif de rotation ou de translation entre deux solides **M** et **P**.

Un solide qui n'a aucune liaison possède 6 degrés de liberté : 3 en rotation et 3 en translation (G.D. 25).

Théoriquement, un degré de liberté est éliminé par un contact ponctuel (fig. 1).

3.2 Normale de repérage

On schématise chaque contact ponctuel théorique par un vecteur normal à la surface considérée.

Ce vecteur est appelé normale de repérage.

La représentation normalisée d'une normale de repérage est donnée figure 2a. Si nécessaire, on peut effectuer une représentation projetée (fig. 2b).

Le symbole est toujours placé du côté libre de matière à l'emplacement choisi (fig. 3a).

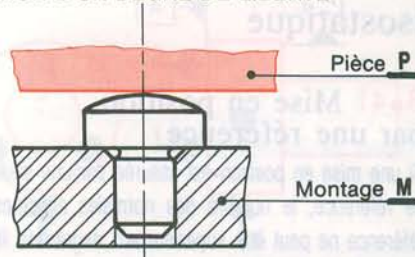
Quand on manque de place et s'il n'y a pas ambiguïté, le symbole peut être placé sur une ligne d'attache (fig. 3b).

3.3 Principe d'utilisation

On affecte à chaque surface autant de normale de repérage qu'elle doit éliminer de degrés de liberté.

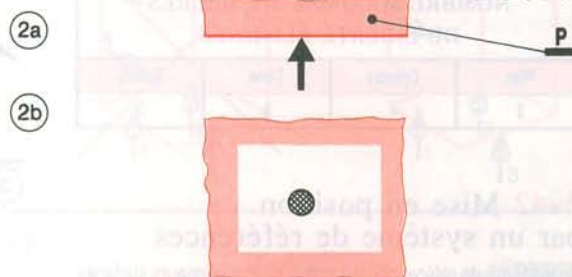
- Dessiner les symboles dans les vues où leurs positions sont les plus explicites.
- Repérer, dans chaque vue, les symboles par un chiffre de 1 à 6.
- Il est recommandé de limiter leur nombre en fonction des cotes de fabrication à réaliser dans la phase.
- Coter éventuellement leur position.

① ÉLIMINATION D'UN DEGRÉ DE LIBERTÉ

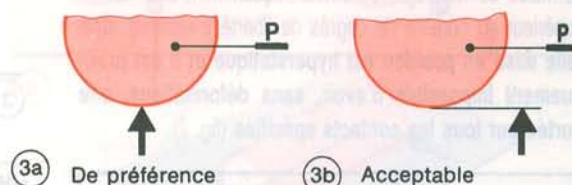


② SYMBOLISATION D'UNE NORMALE DE REPÉRAGE

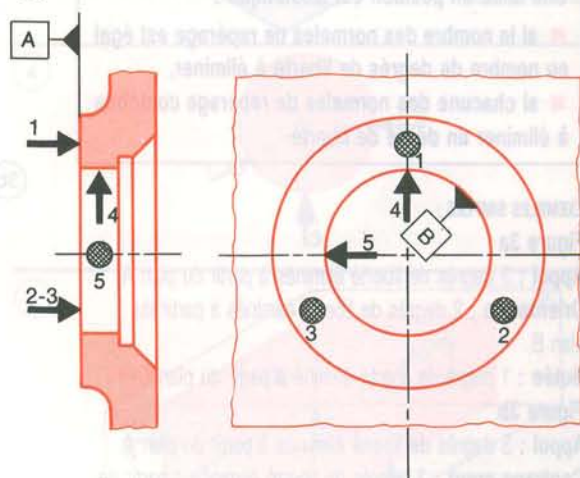
NF E 04-013



③ POSITION DU SYMBOLE



④ EXEMPLE D'UTILISATION



3.4 Mise en position isostatique

3.41 Mise en position par une référence

Si une mise en position est assurée par une seule surface de référence, le nombre des normales affectées à cette référence ne peut être supérieur aux degrés de liberté que la surface peut éliminer.

NOMBRE MAXIMAL DE DEGRÉS DE LIBERTÉ ÉLIMINÉS			
Plan	Cylindre	Cône	Sphère
3	4	5	3

3.42 Mise en position par un système de références

Un système de références est composé par plusieurs surfaces de références.

Si sur chaque surface on place le nombre maximal de normales de repérage, on arrive fréquemment à un chiffre supérieur au nombre de degrés de liberté à éliminer. **Une telle mise en position est hyperstatique et il est pratiquement impossible d'avoir, sans déformations, une portée sur tous les contacts spécifiés (fig. 2).**

PRINCIPE FONDAMENTAL

Une mise en position est isostatique :

- si le nombre des normales de repérage est égal au nombre de degrés de liberté à éliminer,
- si chacune des normales de repérage contribue à éliminer un degré de liberté.

EXEMPLES SIMPLES :

Figure 3a

Appui : 3 degrés de liberté éliminés à partir du plan A.

Orientation : 2 degrés de liberté éliminés à partir du plan B.

Butée : 1 degré de liberté éliminé à partir du plan C.

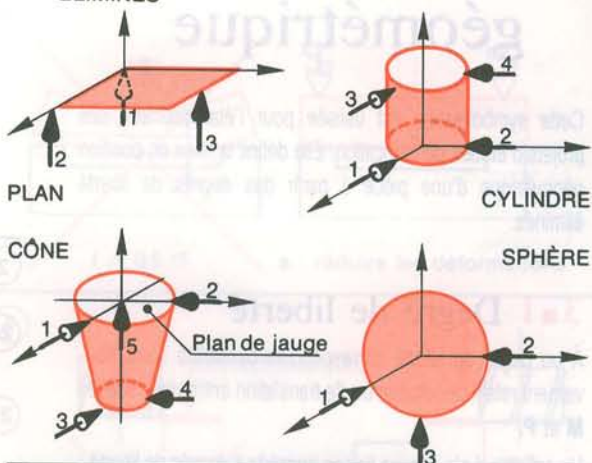
Figure 3b

Appui : 3 degrés de liberté éliminés à partir du plan A.

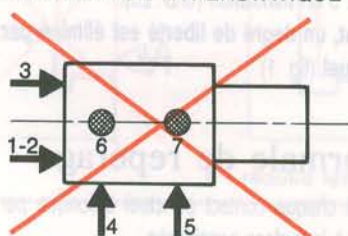
Centrage court : 2 degrés de liberté éliminés à partir de l'alésage B.

Butée : 1 degré de liberté éliminé à partir du plan C.

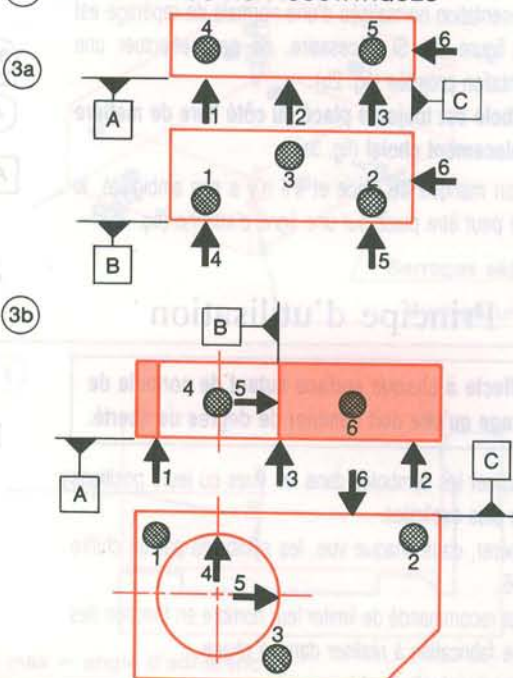
① NOMBRE MAXIMAL DE DEGRÉS DE LIBERTÉ ÉLIMINÉS



② MISE EN POSITION HYPERSTATIQUE



③ MISES EN POSITION ISOSTATQUES



3.43 Règles de disposition des normales

Afin de vérifier si chacune des normales de repérage contribue à éliminer un degré de liberté, il est utile de connaître quelques règles usuelles*.

L'emplacement d'une normale de repérage est déterminé de façon que le degré de liberté qu'elle supprime ne soit pas déjà interdit par une autre normale (fig. 1).

Ne jamais placer plus de trois normales parallèles, et, dans ce cas, les points de contact ne doivent pas être en ligne droite (fig. 2).

Ne jamais placer plus de trois normales coplanaires (fig. 3).

Ne jamais placer plus de trois normales non coplanaires, concourantes au même point (fig. 4).

Une mise en position sans degré de liberté impose que les six normales soient relatives à trois plans au moins (fig. 5).

REMARQUES :

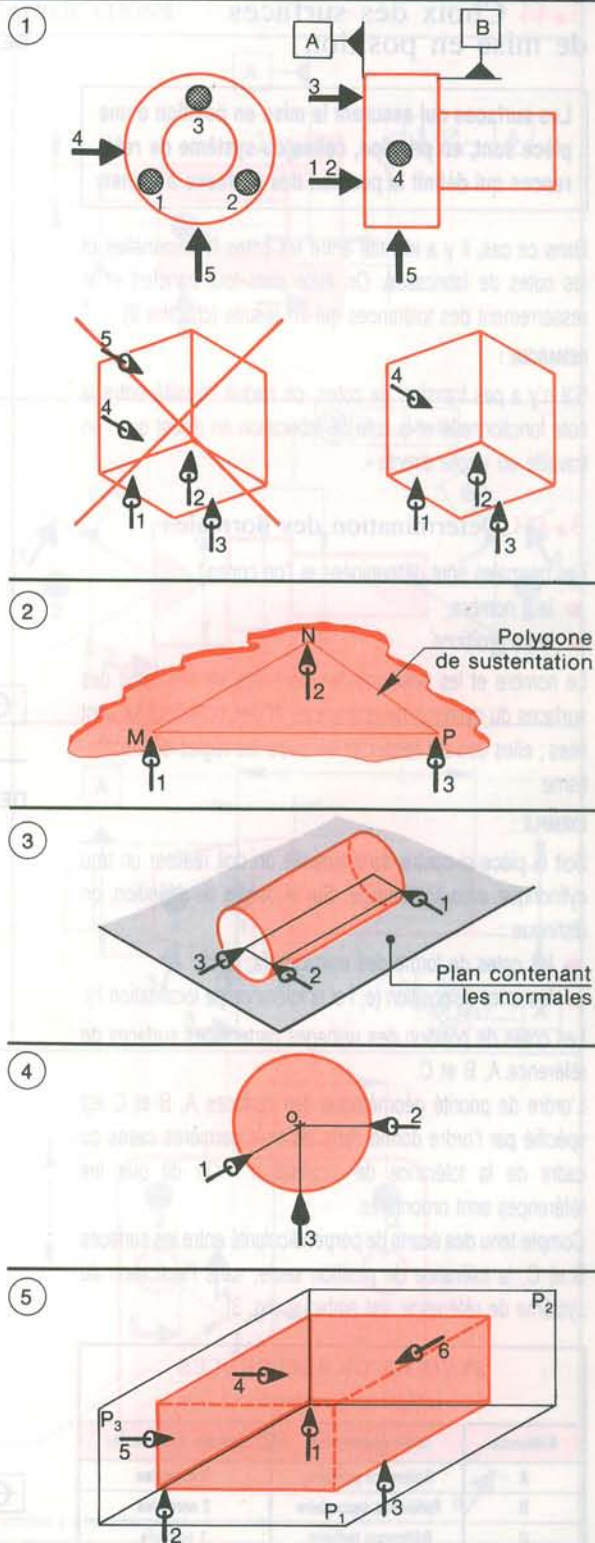
1° Afin d'augmenter la qualité de la mise en position :

- les normales de repérage doivent être aussi distantes que possible les unes des autres,
- chaque normale doit être confondue ou aussi voisine que possible avec la direction du mouvement qu'elle élimine.

2° Les normales de repérage définissent les zones préférentielles de contact de la pièce sur ses appuis. Si nécessaire, leurs positions peuvent être cotées.

3° Le nombre et les positions des normales de repérage se déduisent des surfaces du système de référence (§ 3.44).

* D'après C. Aubert.



3.44 Choix des surfaces de mise en position

Les surfaces qui assurent la mise en position d'une pièce sont, en principe, celles du système de références qui définit la position des surfaces à usiner.

Dans ce cas, il y a identité entre les cotes fonctionnelles et les cotes de fabrication. On évite ainsi tout transfert et le resserrement des tolérances qui en résulte (chapitre 9).

REMARQUE :

S'il n'y a pas transfert de cotes, on traduit l'égalité entre la cote fonctionnelle et la cote de fabrication en disant que l'on travaille en « cote directe ».

3.441 Détermination des normales

Les normales sont déterminées si l'on connaît :

- leur nombre,
- leurs positions.

Le nombre et les positions des normales se déduisent des surfaces du système de références et des cotes qui lui sont liées ; elles doivent respecter en outre les règles de l'isostatisme.

EXEMPLE :

Soit la pièce ci-contre dans laquelle on doit réaliser un trou cylindrique avec son lamage. Sur le dessin de définition, on distingue :

- les cotes de forme des usinages (a, b, c) ;
- les cotes de position (e, f et la tolérance de localisation h).

Les cotes de position des usinages partent des surfaces de référence A, B et C.

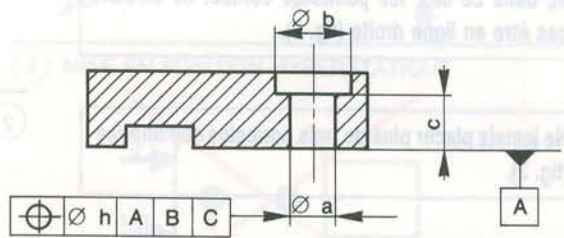
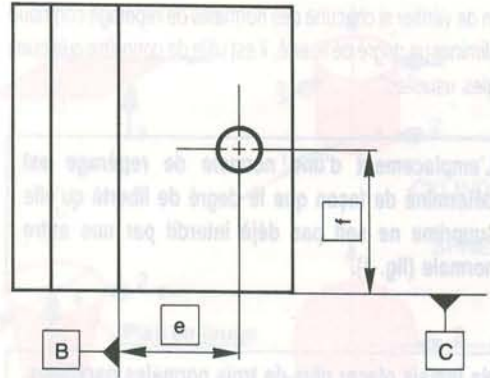
L'ordre de priorité géométrique des surfaces A, B et C est spécifié par l'ordre donné dans les trois dernières cases du cadre de la tolérance de localisation*. On dit que les références sont ordonnées.

Compte tenu des écarts de perpendicularité entre les surfaces B et C, la tolérance de position seule, sans l'indication du système de référence, est ambiguë (fig. 3).

SYSTÈME DE RÉFÉRENCES (références ordonnées)		
Référence	Ordre géométrique	Nombre de normales
A	Référence primaire	3 normales
B	Référence secondaire	2 normales
C	Référence tertiaire	1 normale

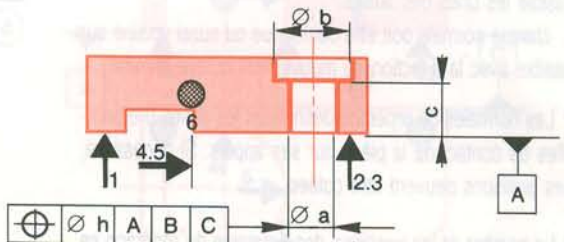
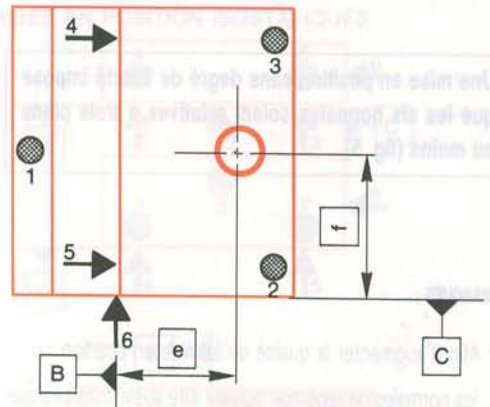
DESSIN DE DÉFINITION

Cotation fonctionnelle



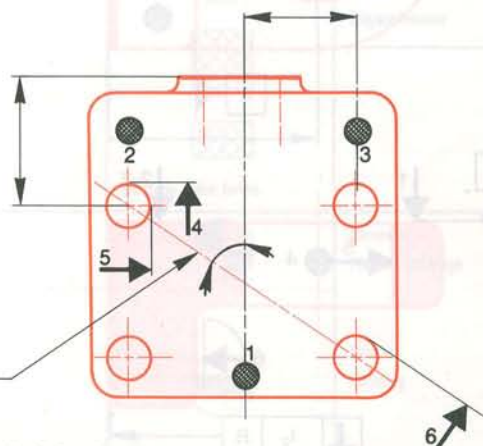
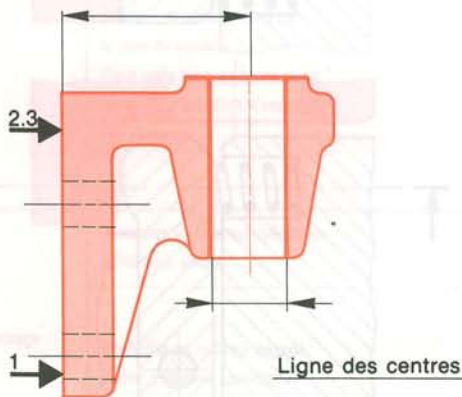
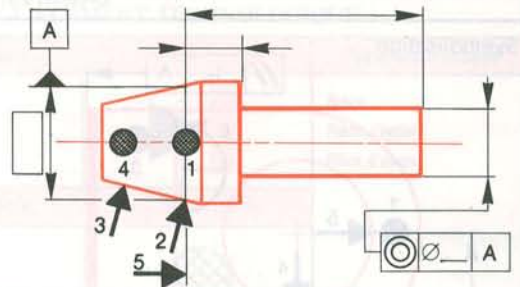
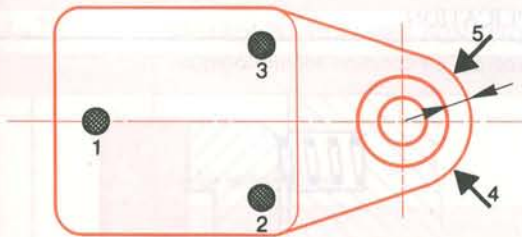
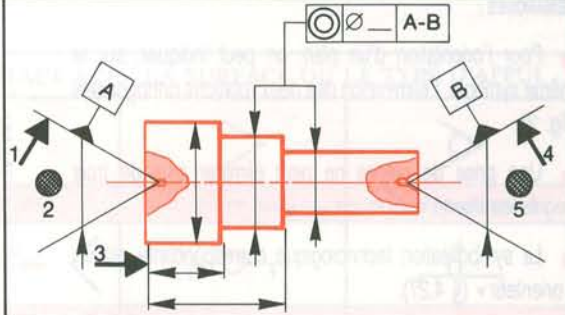
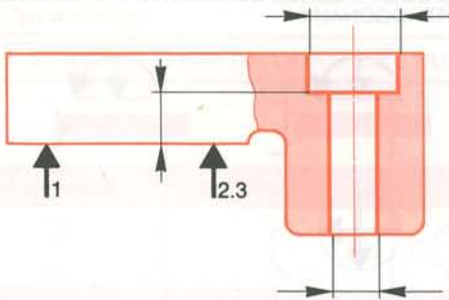
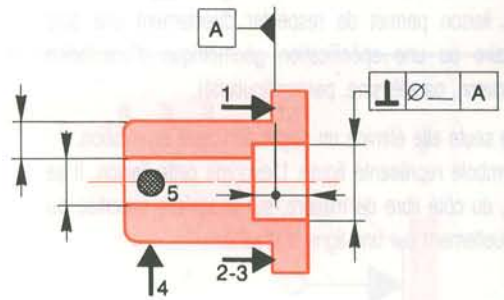
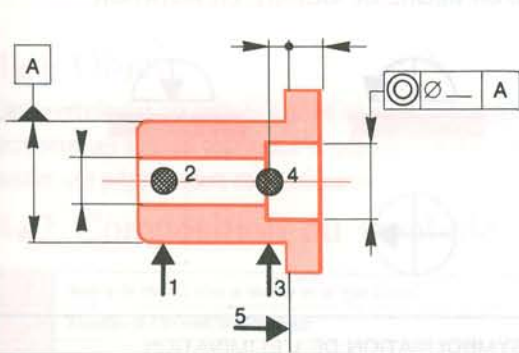
DESSIN DE PHASE

Cotation de fabrication



* Voir G. D. 17.3.

EXEMPLES D'APPLICATIONS



NOTA : Pour une bonne qualité de l'orientation la normale de repérage 6 doit être perpendiculaire à la ligne des centres.

3.5 Liaison d'orientation

Cette liaison permet de respecter directement une cote angulaire ou une spécification géométrique d'orientation (inclinaison, parallélisme, perpendicularité).

A elle seule elle élimine un degré de liberté en rotation.

Le symbole représenté figure 1 exprime cette liaison. Il se place, du côté libre de matière, sur la surface spécifiée ou éventuellement sur une ligne d'attache.

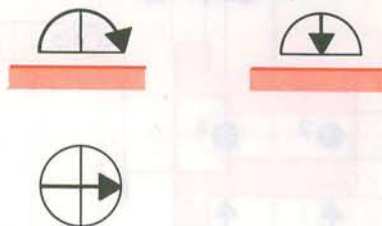
REMARQUES :

■ Pour l'orientation d'un plan, on peut indiquer, sur le même symbole, l'élimination des deux rotations orthogonales (fig. 2).

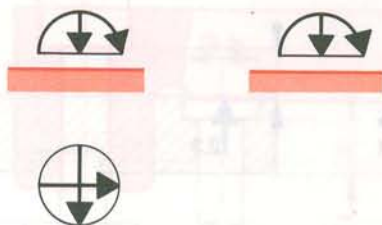
■ Une prise de pièces ne peut éliminer plus de trois degrés de liberté en rotation.

■ La symbolisation technologique correspondante est un « orienteur » (§ 4.27).

1 SYMBOLISATION DE L'ÉLIMINATION DIRECTE D'UN DEGRÉ DE LIBERTÉ EN ROTATION

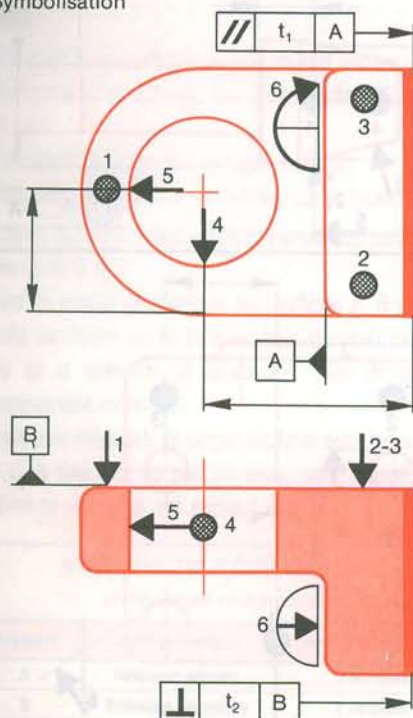


2 SYMBOLISATION DE L'ÉLIMINATION DE DEUX DEGRÉS DE LIBERTÉ EN ROTATION ORTHOGONAUX

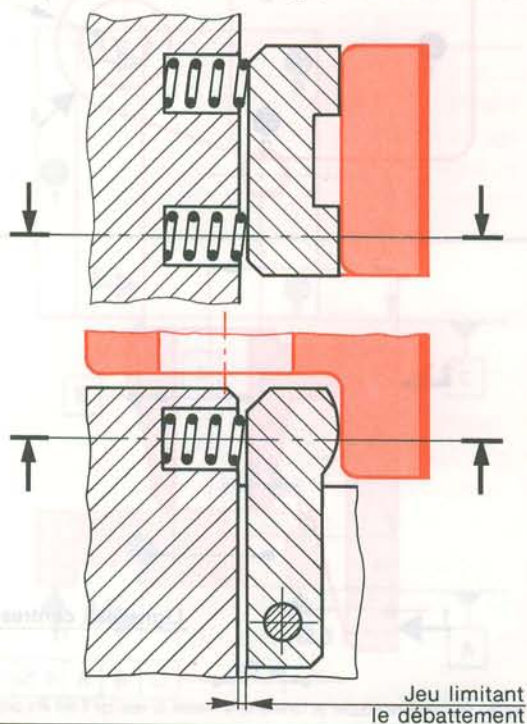


EXEMPLE D'APPLICATION

Symbolisation



Exemple de solution technologique



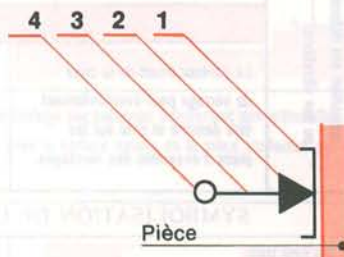
4 Symbolisation technologique NF E 04-013

4.1 Objet

Cette symbolisation est destinée à définir les types des solutions technologiques à utiliser pour mettre en position et maintenir en position une pièce au cours de sa fabrication.

4.2 Composition du symbole

1	Nature du contact avec la surface ou le type d'appui
2	Fonction de l'élément technologique
3	Nature de la surface de la pièce
4	Type de technologie



4.2.1 SYMBOLISATION DE LA NATURE DU CONTACT AVEC LA SURFACE OU LE TYPE D'APPUI

Contact ponctuel	Contact surfacique	Contact strié	Pointe fixe	Pointe tournante
Contact dégagé	Cuvette	Vé	Palonnier	Orieur

4.2.2 SYMBOLISATION DES FONCTIONS DE L'ÉLÉMENT TECHNOLOGIQUE

Fonction		Symbolisation frontale	Désignation usuelle
MISE EN POSITION	Appui	Triangle équilatéral noirci	Butée Pièce d'appui Pièce d'usure
		Symbolisation projetée	
		Représenter, dans la mesure du possible, le contour exact de la zone de contact. Coter cette zone, en forme et en position sur les plans d'ensemble des montages.	Touche Dégauchoisseur
Centrage	Symbolise un centreur cylindrique, ou conique simple.		Centreur Pied de centrage
	Symbolise un centreur dégagé. Veillez à orienter correctement la barre noire.		Broche Locating

Fonction		Symbolisation frontale		Désignation usuelle
MAINTIEN EN POSITION	Éventuellement prélocalisation, opposition aux déformations ou aux vibrations.	Triangle équilatéral		Bride Clame Vérin
		Symbolisation projetée		ou éventuellement
		Le contour exact de la zone de serrage peut éventuellement être dessiné et coté sur les plans d'ensemble des montages.		Détrompeur Antivibre Prélocalisation

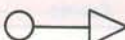
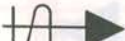
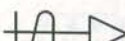
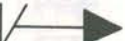
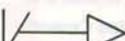
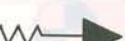
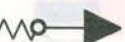
4.23

SYMBOLISATION DE LA NATURE DE LA SURFACE DE LA PIÈCE

Surface usinée (un seul trait)	
Surface brute (deux traits)	

4.24

SYMBOLISATION DU TYPE DE TECHNOLOGIE

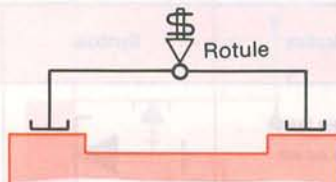
Technologie	Symbole	Désignation usuelle	Symbole	Désignation usuelle
Appui fixe		Pièce d'appui Drageoir Touche Dégauchoisseur		Touche de prélocalisation Détrompeur
Centrage fixe		Centreur Pied Broche Locating		Précentreur
Système à serrage		En général, dispositif de mise en position et de serrage symétriques.		Bride clame came sauterelle
Système à serrage concentrique		Mandrin Pincés Expansibles		Entraîneur (système à serrage concentrique flottant)
Système à réglage irréversible		Appui réglable Vérin « Ingersoll » (de mise en position)		Appui réglable Vérin « Ingersoll » (opposition aux déformations)
Système à réglage réversible		Vis d'appui réglable Vérin axiale		Antivibre
Centrage réversible		Pied conique Broche conique		Pied conique Broche conique

4.25

INSCRIPTIONS COMPLÉMENTAIRES

Dans certains cas, afin d'éviter toute ambiguïté, il peut être nécessaire :

- de compléter le symbole par une indication écrite,
- de coter la position du symbole.

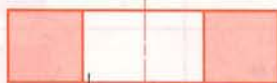
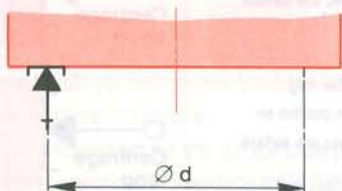


Rotule

Système de bridage par palonnier comportant une articulation à rotule.

Le contact avec la surface usinée de la pièce s'effectue par deux touches plates.

3 touches
à 120°



Éclipsable

La surface usinée de la pièce est en appui fixe sur 3 touches plates disposées sur une circonférence et à 120° les unes des autres.

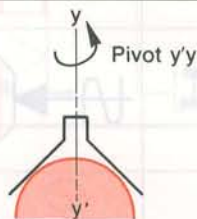
La pièce une fois mise en position, le dispositif de centrage doit pouvoir s'éclipser.



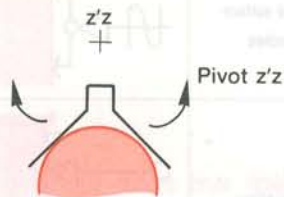
Éclipsable

La pièce est orientée par une touche plate en contact sur une face brute. Afin de permettre l'usinage de cette face, l'élément de mise en position angulaire comporte un dispositif à ressort permettant de l'éclipser.

Le vé peut pivoter autour de l'axe y'y.



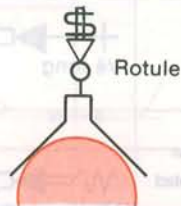
Pivot y'y



Pivot z'z

Le vé peut pivoter autour de l'axe z'z.

Le contact de l'élément de serrage avec la surface brute de la pièce s'effectue par l'intermédiaire d'un appui en vé monté sur une articulation à rotule.



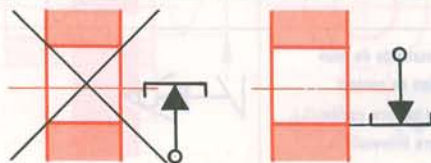
Rotule

4.26

POSITION DU SYMBOLE

Le symbole est placé du côté libre de matière, sa direction est normale à la surface.

Il peut être placé directement sur la surface concernée ou sur une ligne d'attache.



4.27

EXEMPLES DE SYMBOLES COMPOSÉS

Signification	Symbole	Degrés de liberté éliminés	Signification	Symbole	Degrés de liberté éliminés
Contact surfacique fixe de mise en position sur une surface usinée.		Fonction de la surface	Index fixe d'orientation ou « Locating » en contact, avec une surface usinée.		1
Mors striés à serrage concentrique en contact avec une surface brute.		Fonction de la surface	Centreur fixe court de mise en position en contact avec une surface usinée.		2
Contact ponctuel fixe de mise en position sur une surface brute.		1	Centreur fixe long de mise en position en contact avec une surface usinée.		4
Contact dégagé fixe de mise en position sur une surface usinée.		2	Palonnier de mise en position en contact avec une surface brute par deux touches bombées.		1
Cuvette de mise en position en contact avec une surface usinée.		2	Orienteur de mise en position angulaire à contacts ponctuels sur une surface usinée (« droite coulissante »).		1
Vé fixe court de mise en position en contact avec une surface usinée.		2	Dispositif de maintien en position à contact ponctuel sur une surface brute.		-
Vé fixe long de mise en position en contact avec une surface usinée.		4	Palonnier de maintien en contact avec une surface usinée par deux touches bombées.		-
Vé court de mise en position à réglage réversible en contact avec une surface brute.		1	Précentrage sur une surface usinée par un alésage cylindrique.		-
Pointe fixe de mise en position en contact avec une surface usinée.		3	Entraîneur flottant à serrage concentrique sur une surface brute.		-
Pointe tournante de mise en position en contact avec une surface usinée à réglages irréversibles.		2	Appui de soutien à réglage irréversible.		-

4.28 Exemples d'applications

EXEMPLE 1 :

- Appui sur une surface usinée par un contact plan fixe (cote **a**).
- Orientation sur une surface usinée par une touche fixe dégagée (cote **b**).
- Butée sur une surface usinée par une touche fixe ponctuelle.
- Serrage sur une surface brute par un dispositif à contact ponctuel.

EXEMPLE 2 :

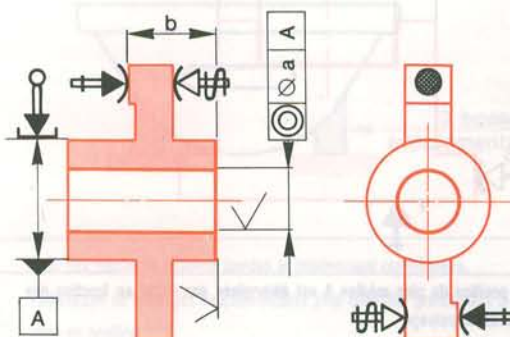
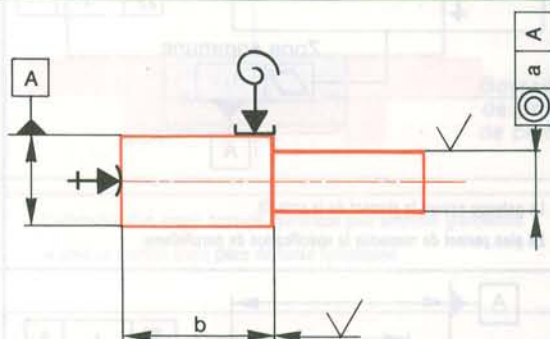
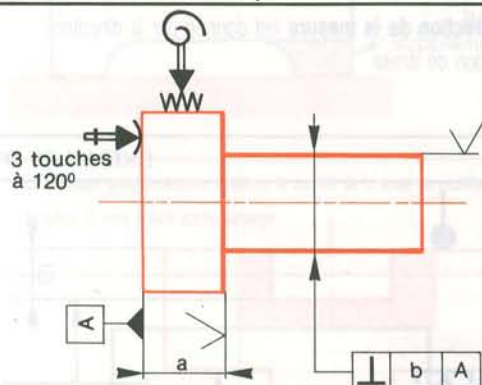
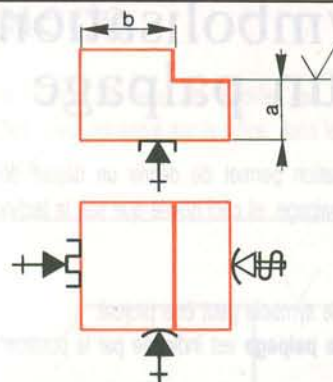
- Appui sur une face brute par trois touches bombées fixes (cote **a** et tolérance de perpendicularité **b**).
- Centrage court et entraînement sur une surface brute par un dispositif à serrage concentrique et à contacts striés (faible longueur relative des mors).

EXEMPLE 3 :

- Centrage long et entraînement sur une surface usinée par un dispositif à pince (tolérance de coaxialité **a**).
- Butée sur une surface usinée par une touche à contact ponctuel (cote **b**).

EXEMPLE 4 :

- Centrage long sur une surface brute (tolérance de coaxialité **a**).
- Butée sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel (cote **b**).
- Orientation sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel.
- Serrage s'exerçant sur deux surfaces brutes par deux dispositifs à contacts ponctuels.



5 Symbolisation d'un palpage

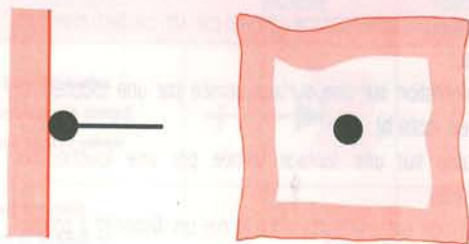
Cette symbolisation permet de définir un départ de cote résultant d'un palpage, et ceci quelle que soit la technologie utilisée.

Si nécessaire, le symbole peut être projeté.

■ La **zone de palpage** est indiquée par la position de la sphère.

■ La **direction de la mesure** est donnée par la direction de la portion de droite.

SYMBOLISATION D'UN PALPAGE



NOTA : L'emploi de ce symbole est compatible avec l'usage de la symbolisation géométrique (chapitre 3).

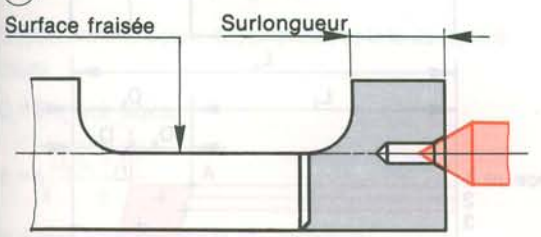
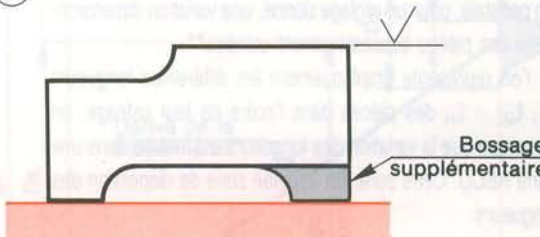
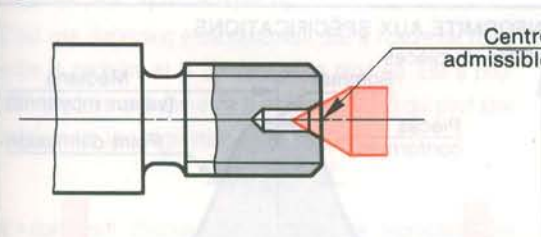
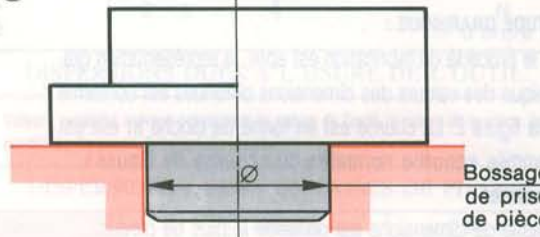
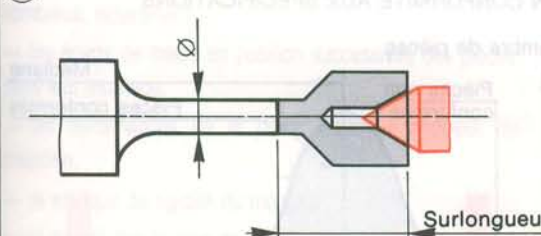
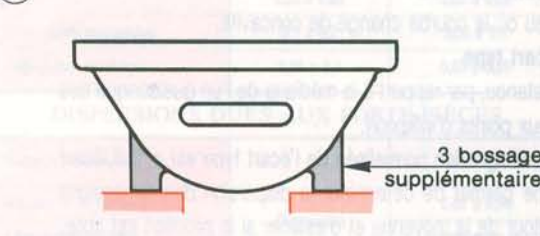
EXEMPLES D'APPLICATIONS

Le palpage assure le respect de la cote Cf. Le plan permet de respecter la spécification de parallélisme.	La position du plan médian A est déterminée par calcul en fonction des relevés du palpage dans deux plans dont les positions sont cotées.
La position du plan médian A est déterminée par calcul en fonction des relevés du palpage. Les butées 4 et 5 ne servent qu'à une prélocalisation.	Le respect de la spécification de parallélisme est assuré par palpage dans deux plans dont les positions sont cotées.

6 Aménagement de la pièce

Pour certaines formes de pièces, la mise en position est très difficile, voire impossible. Dans ce cas on prévoit sur la pièce un élément d'adaptation.

En général, si cet élément ne modifie pas les conditions fonctionnelles, il est conservé sur la pièce, dans le cas contraire, il est supprimé.

①  Surface fraisée Surlongueur	④  Bossage supplémentaire
Pour éviter les vibrations pendant le fraisage, on a été amené à effectuer un centre d'usinage pour un soutien par contrepoint. La surlongueur est coupée après le fraisage.	Le bossage supplémentaire améliore la qualité de la mise en position de la pièce. Il sera meulé après fraisage.
②  Centre admissible	⑤  Bossage de prise de pièce
Le centre d'usinage est fonctionnellement admissible. Il sera conservé sur la pièce. On évite ainsi une surlongueur de la pièce et une opération de tronçonnage.	L'adjonction d'un simple bossage cylindrique peut simplifier grandement la mise en position d'une pièce de forme compliquée.
③  Surlongueur	⑥  3 bossages supplémentaires
Le faible diamètre de la pièce n'autorise pas l'exécution d'un centre suffisant. On a prévu une surlongueur qui sera tronçonnée en fin de tournage.	Pour des pièces de fonderie lourdes et relativement compliquées, l'adjonction de bossages supplémentaires peut simplifier grandement la mise en position.

7 Dispersions dimensionnelles

7.1 Généralités

Pendant la durée de vie pratique d'un outil de coupe*, si l'on usine, en série, la longueur L d'une pièce par exemple, on constate, pour un réglage donné, une variation dimensionnelle des pièces successivement usinées**.

Si l'on représente graphiquement les différentes longueurs $L_1, L_2, \dots, L_n$ des pièces dans l'ordre de leur usinage, on remarque que la variation des longueurs est incluse dans une zone ABCD. Cette zone est appelée zone de dispersion des longueurs.

7.2 Aptitude d'un procédé

Pour qu'un procédé soit statistiquement apte il faut qu'il satisfasse notamment aux deux conditions suivantes :

- réaliser des pièces conformes aux spécifications,
- être stable dans le temps.

ÉTUDE GRAPHIQUE :

Si le procédé de fabrication est apte, la représentation graphique des valeurs des dimensions obtenues est conforme à la figure 2. La courbe est en forme de cloche et elle est nommée « **courbe normale** » ou « **courbe de Gauss** ».

Sommet

Classe de dimensions qui possède le plus de pièces.

Médiane

Axe de symétrie passant par le sommet.

Moyenne

Abscisse de la médiane ou valeur moyenne des dimensions.

Point d'inflexion

Lieu où la courbe change de concavité.

Écart type

Distance, par rapport à la médiane de l'un quelconque des deux points d'inflexion.

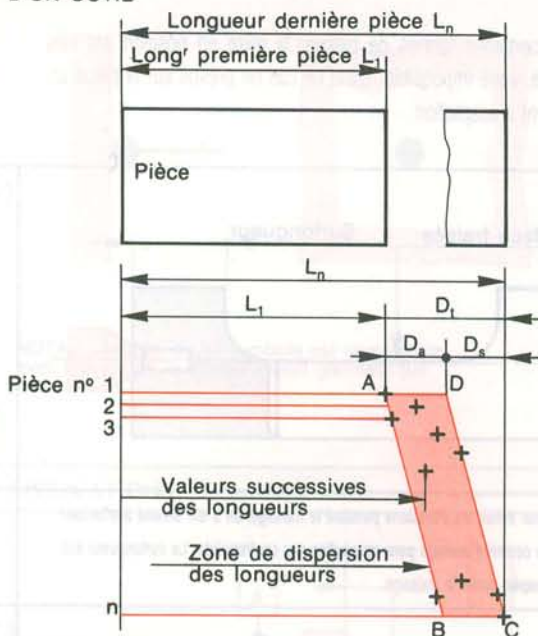
La désignation normalisée de l'écart type est σ^{***} . L'écart type permet de déterminer la dispersion des dimensions autour de la moyenne et d'estimer si le procédé est apte.

* La durée de vie pratique d'un outil est celle où l'usure de l'arête tranchante est pratiquement proportionnelle à la longueur développée de métal coupé. On estime qu'avant usinage l'arête a subi un rodage et que l'on s'arrête avant une défaillance brutale.

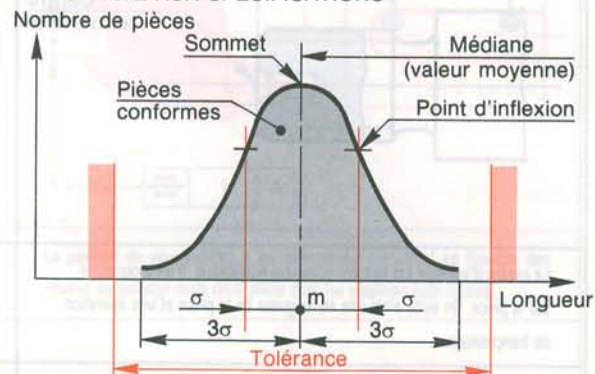
** On suppose que les déformations thermiques de l'ensemble machine-pièce-outil sont stabilisées.

*** Prononcer « sigma ».

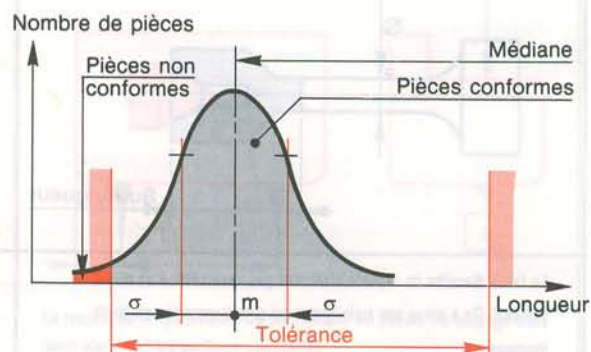
DISPERSION POUR UNE DURÉE DE VIE PRATIQUE D'UN OUTIL



CONFORMITÉ AUX SPÉCIFICATIONS



NON CONFORMITÉ AUX SPÉCIFICATIONS



7.3 Étude des dispersions

Soit l'étude relative à une durée de vie pratique d'un outil.

■ Dispersion globale D_t .

C'est la différence entre la valeur de la dimension la plus grande L_n et la valeur de la dimension la plus faible L_1 .

$$D_t = L_n - L_1.$$

On peut l'estimer à partir des propriétés de la loi de Laplace-Gauss.

$D_t = 6 \sigma_t$ (voir tableau).

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum (L_i - m)^2}{n}}$$

σ_t = écart type des valeurs des dimensions.

L_i = valeurs individuelles des dimensions.

m = moyenne des valeurs des dimensions.

n = nombre de pièces.

■ Dispersion systématique D_s .

C'est une dispersion essentiellement due à l'usure de l'outil entre la première et la dernière pièce produite. Elle a pour effet d'induire une dérive de la moyenne (§ 7.2) qui peut être estimée par une régression linéaire.

$$D_s = a.N.$$

a = coefficient directeur de la droite de régression des résultats ordonnés (dérive de la moyenne).

N = numéro d'ordre de production des pièces.

■ Dispersion aléatoire D_a

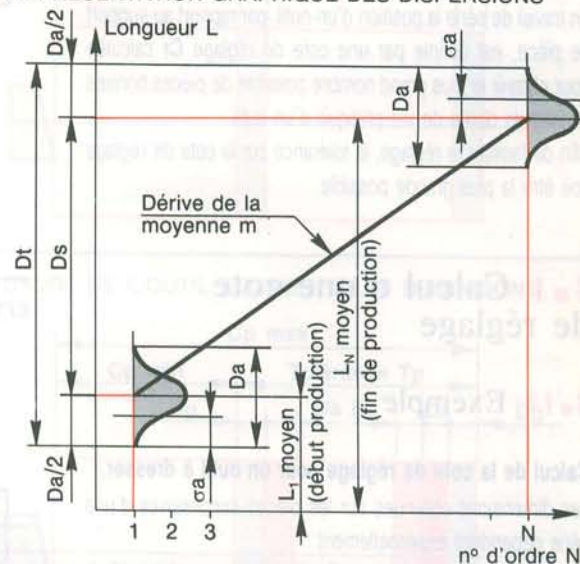
Cette dispersion englobe des phénomènes relativement nombreux, notamment :

- les écarts de mises en position successives des pièces dans leur montage,
- les déformations de la pièce dues au dispositif de maintien,
- le manque de rigidité du montage,
- la fidélité des butées de fin de course,
- les déformations de la pièce lors de son usinage, en fonction de la variation des efforts de coupe (par exemple du fait des variations de la surépaisseur d'une pièce à l'autre).

$$D_t = D_s + D_a.$$

Écart type	Pourcentage de dimensions conformes	En fabrication l'intervalle $\pm 3\sigma_t$ est le plus utilisé
$\pm 1\sigma_t$	68,35 %	
$\pm 2\sigma_t$	95,55 %	
$\pm 3\sigma_t$	99,73 %	
$\pm 4\sigma_t$	99,99 %	

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES DISPERSIONS



DISPERSIONS DUES A L'USURE DE L'OUTIL			
Valeurs variables suivant notamment la nature de l'outil, la nature de la pièce, les conditions de coupe, le temps de coupe.			
DISPERSIONS DUES AUX PRISES DE PIÈCES			
Surface d'appui de la pièce	brute	moulée au sable	0,4
		moulée en coquille	0,2
		sciée	0,1 à 0,4
	usinée	0,02 à 0,1	
DISPERSIONS DUES AUX BUTÉES DE COURSES			
Type de butée	Ebauche	Finition	
Fixe	0,04 à 0,08	0,02 à 0,04	
Débrayable mécanique	0,1 à 0,2	0,05 à 0,1	
Débrayable électrique	0,05 à 0,1	0,03 à 0,05	
DISPERSIONS DUES AUX PORTE-PIÈCES			
Mandrin 3 mors durs	Dispersion de coaxialité	0,1 à 0,2	
Mandrin 3 mors doux		0,02 à 0,04	
Centreur cylindrique		Fonction du jeu	
Centreur conique		0,02	
Rondelles Ringspann		0,01 à 0,02	
Expansible		0,01 à 0,02	
Valeurs courantes données à titre de première estimation.			

8 Cotes de réglage

En travail de série la position d'un outil, par rapport au support de pièce, est définie par une cote de réglage **Cr** calculée pour obtenir le plus grand nombre possible de pièces bonnes pendant la durée de vie pratique d'un outil.

Afin de faciliter le réglage, la tolérance sur la cote de réglage doit être la plus grande possible.

8.1 Calcul d'une cote de réglage

8.1.1 Exemple

Calcul de la cote de réglage pour un outil à dresser.

Les dimensions obtenues sur les pièces successives d'une série dépendent essentiellement :

- d'une dispersion aléatoire **Da**, fonction du matériel utilisé,
- d'une dispersion systématique **Ds**, fonction de l'usure de l'outil (voir chapitre 7),
- des défauts géométriques **Dg** de la machine.

Effet de la dispersion aléatoire ($D_s \approx 0$, $D_g \approx 0$).

Même si l'usure de l'outil est négligeable (cas d'une faible longueur de coupe), la dispersion aléatoire fait que pour un réglage donné, les dimensions obtenues sur les pièces varient dans un intervalle **Da** centré par rapport à la cote théorique de réglage.

Il en résulte que la cote minimale de réglage doit être égale à la cote minimale de la pièce **Cp min** plus la moitié de la dispersion aléatoire :

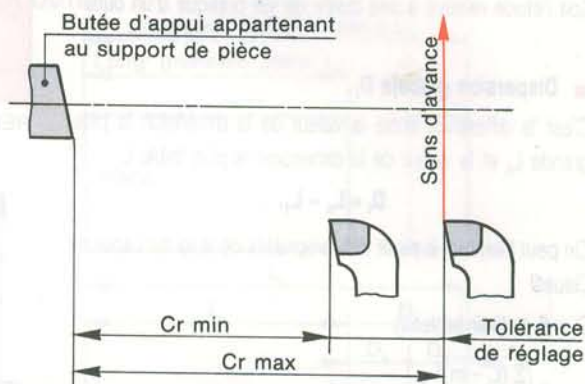
$$Cr_{min} = Cp_{min} + \frac{Da}{2}$$

Effet de la dispersion systématique ($Da \approx 0$, $Dg \approx 0$).

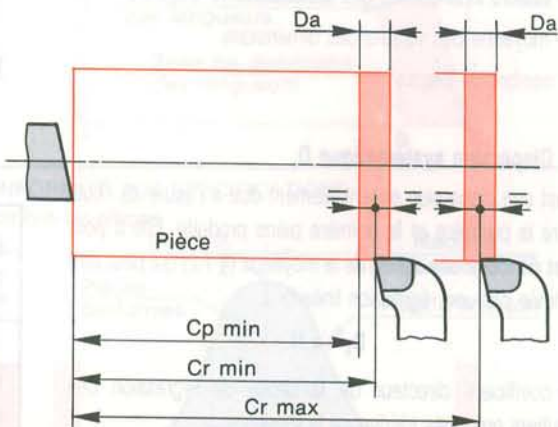
Pour le cas étudié, l'usure de l'outil augmente les dimensions des pièces d'une valeur maximale **Ds**. Il en résulte que la cote maximale de réglage doit être égale à la cote maximale de la pièce **Cp max** moins la dispersion systématique :

$$Cr_{max} = Cp_{max} - Ds$$

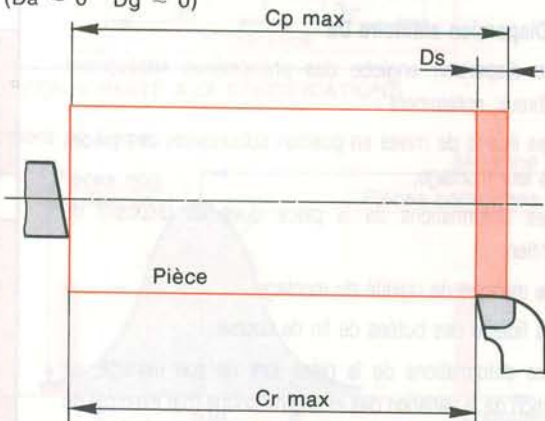
RÉGLAGE D'UN OUTIL À DRESSER



EFFET DE LA DISPERSION ALÉATOIRE ($D_s \approx 0$, $D_g \approx 0$)



EFFET DE LA DISPERSION SYSTÉMATIQUE ($Da \approx 0$, $Dg \approx 0$)



NOTA : La représentation des zones de dispersion est fortement exagérée.

Effet des défauts géométriques de la machine

La machine-outil a un défaut géométrique qui s'exprime par une tolérance Dg , à l'intérieur de laquelle les erreurs géométriques que l'on obtient sur la pièce restent contenues.

Il en résulte une réduction de la tolérance de fabrication Tf par rapport à celle de la pièce Tp :

$$Tf = Tp - 2 Dg.$$

Effet cumulé

On obtiendra le plus grand nombre de pièces bonnes en ayant une cote de réglage aussi près que possible de la cote minimale de la pièce :

$$Cr \min = Cp \min + Dg + \frac{Da}{2}$$

L'usure de l'outil et la dispersion aléatoire font que la cote de réglage ne pourra être supérieure à :

$$Cr \max = Cp \max - \left(Dg + Ds + \frac{Da}{2} \right).$$

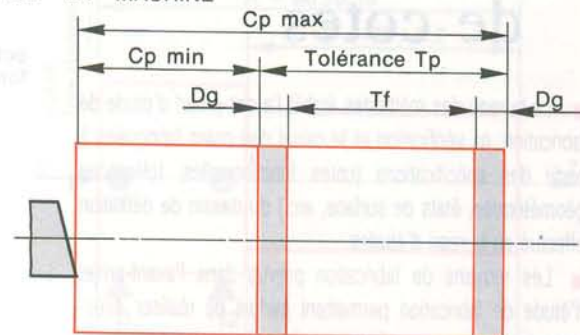
REMARQUE :

■ Si l'usure de l'outil diminue les dimensions des pièces, par exemple dans le cas du dressage de la face F de la pièce ci-dessous, on a :

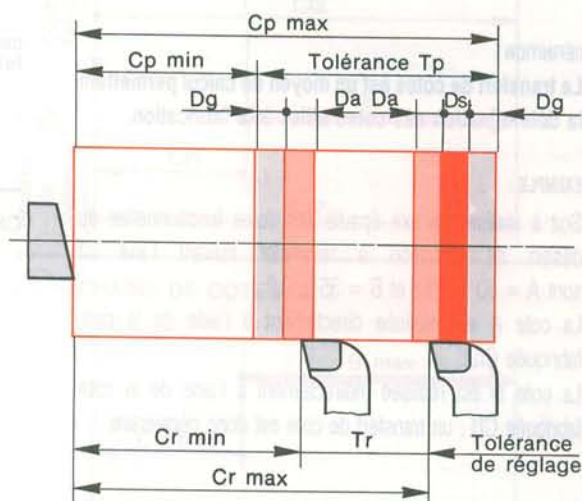
$$Cr \min = Cp \min + Dg + Ds + \frac{Da}{2}$$

$$Cr \max = Cp \max - \left(dg + \frac{Da}{2} \right).$$

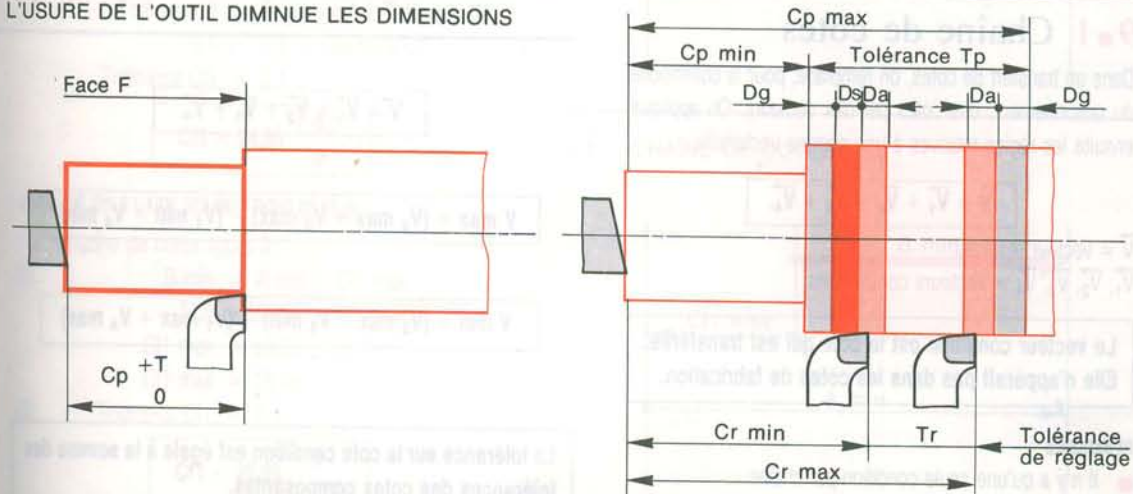
EFFET DES DÉFAUTS GÉOMÉTRIQUES DE LA MACHINE



L'USURE DE L'OUTIL AUGMENTE LES DIMENSIONS



L'USURE DE L'OUTIL DIMINUE LES DIMENSIONS



9 Transfert de cotes

■ Le bureau des méthodes établit l'avant-projet d'étude de fabrication, sa vérification et le calcul des cotes fabriquées à partir des spécifications (cotes fonctionnelles, tolérances géométriques, états de surface, etc.) du dessin de définition effectué au bureau d'études.

■ Les moyens de fabrication prévus dans l'avant-projet d'étude de fabrication permettent parfois de réaliser directement certaines cotes fonctionnelles. Ces cotes sont appelées : « cotes directes ». Les autres cotes réalisées indirectement nécessitent un calcul appelé : « transfert de cotes ».

DÉFINITION :

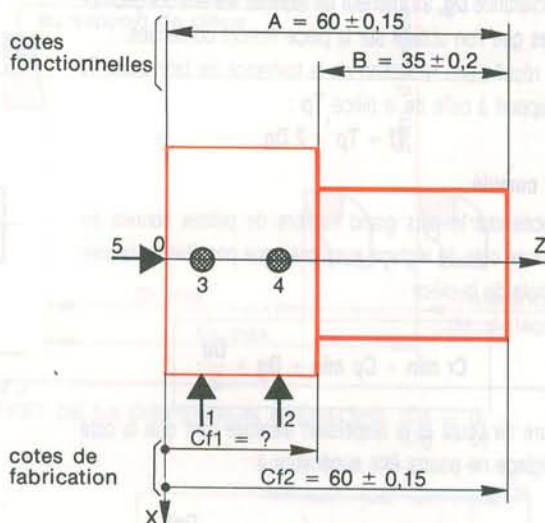
Le transfert de cotes est un moyen de calcul permettant la détermination des cotes utiles à la fabrication.

EXEMPLE :

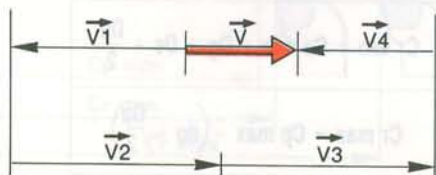
Soit à réaliser un axe épaulé, les cotes fonctionnelles du dessin de définition à respecter suivant l'axe OZ sont $A = 60 \pm 0,15$ et $B = 35 \pm 0,2$.

La cote A est réalisée directement à l'aide de la cote fabriquée $Cf2$.

La cote B est réalisée indirectement à l'aide de la cote fabriquée $Cf1$; un transfert de cote est donc nécessaire.



CHAÎNE DE COTES



9.1 Chaîne de cotes

Dans un transfert de cotes, on remplace, pour la commodité du raisonnement, des cotes par des vecteurs. On applique ensuite les règles relatives à une somme vectorielle :

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 + \vec{V}_4$$

$\vec{V}$ = vecteur résultant.

$\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3, \vec{V}_4$ = vecteurs composants.

Le vecteur condition est la cote qui est transférée. Elle n'apparaît pas dans les cotes de fabrication.

REMARQUES :

- Il n'y a qu'une seule condition par chaîne.
- Il ne doit y avoir qu'une seule inconnue par chaîne.

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 + \vec{V}_4$$

$$V_{\max} = (V_2_{\max} + V_3_{\max}) - (V_1_{\min} + V_4_{\min})$$

$$V_{\min} = (V_2_{\min} + V_3_{\min}) - (V_1_{\max} + V_4_{\max})$$

La tolérance sur la cote condition est égale à la somme des tolérances des cotes composantes.

9.2 Étude du transfert de cotes

9.2.1 Exemples

Reprenons le cas de l'axe épaulé :

La cote à transférer est la cote $B = 35 \pm 0,2$.

B est la cote condition.

$Cf1$ et $Cf2$ sont les cotes composantes.

On connaît $Cf2 = A$ et l'on doit calculer $Cf1$.

CALCUL DE $Cf1$:

Les relations suivantes sont à respecter :

$$B_{\max} = A_{\max} - Cf1_{\min} \quad (1)$$

$$B_{\min} = A_{\min} - Cf1_{\max} \quad (2)$$

Tolérance de la cote condition = somme des tolérances des cotes composantes. (3)

■ La cote condition B peut être prise indifféremment au maximum (application de la relation (1)) ou au minimum (application de la relation (2)).

■ La tolérance de $Cf1$ est déterminée à l'aide de la relation (3).

CALCUL DE $Cm1$ À L'AIDE DES RELATIONS (1) ET (3) :

Voir la chaîne de cotes figure 2.

$$\begin{aligned} (1) \quad B_{\max} &= A_{\max} - Cf1_{\min} \\ 35,2 &= 60,15 - Cf1_{\min} \\ Cf1_{\min} &= 60,15 - 35,2 \\ Cf1_{\min} &= 24,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \quad \text{Tolérance condition} &= \text{Somme des tolérances} \\ \text{Tolérance } B &= \text{Tolérance } A + \text{Tolérance } Cf1 \\ 0,4 &= 0,3 + \text{Tolérance } Cf1 \\ \text{Tolérance } Cf1 &= 0,1 \end{aligned}$$

$$Cf1 = 24,95 \begin{matrix} + 0,1 \\ 0 \end{matrix}$$

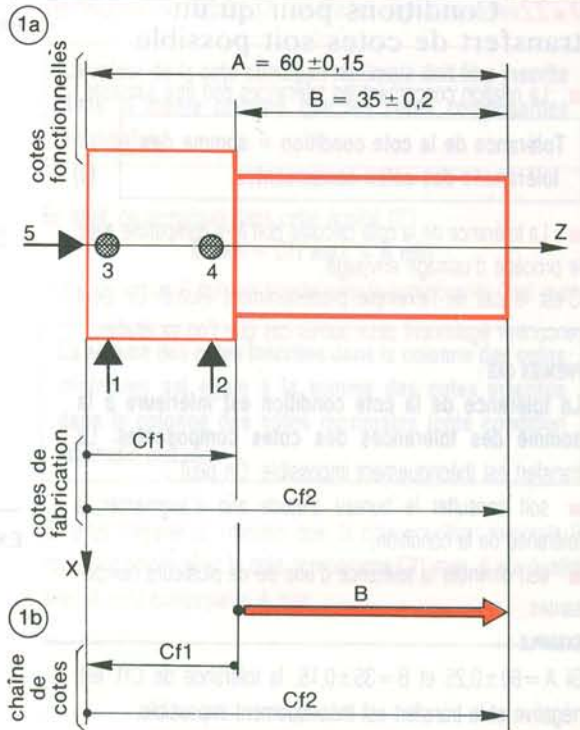
CALCUL DE $Cf1$ À L'AIDE DES RELATIONS (2) ET (3) :

Voir la chaîne de cotes figure 3.

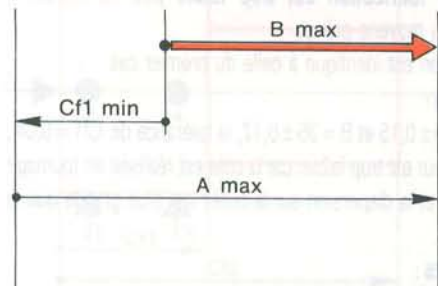
$$\begin{aligned} (2) \quad B_{\min} &= A_{\min} - Cf1_{\max} \\ 34,8 &= 59,85 - Cf1_{\max} \\ Cf1_{\max} &= 59,85 - 34,8 \\ Cf1_{\max} &= 25,05 \end{aligned}$$

$$(3) \quad \text{Tolérance } Cf1 = 0,1$$

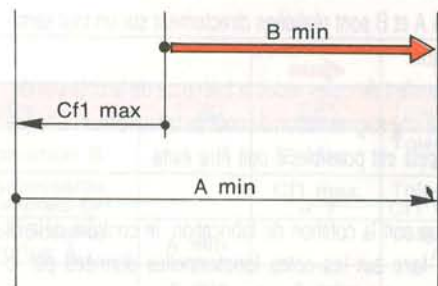
$$Cf1 = 25,05 \begin{matrix} 0 \\ - 0,1 \end{matrix}$$



2 CHAÎNE DE COTES N° 2



3 CHAÎNE DE COTES N° 3



9.22 Conditions pour qu'un transfert de cotes soit possible

- La relation concernant les tolérances doit être satisfaite.

$$\text{Tolérance de la cote condition} = \text{somme des tolérances des cotes composantes.} \quad (3)$$

- La tolérance de la cote calculée doit être compatible avec le procédé d'usinage envisagé. C'est le cas de l'exemple précédemment étudié. On peut rencontrer également deux autres cas que l'on va étudier.

PREMIER CAS :

La tolérance de la cote condition est inférieure à la somme des tolérances des cotes composantes. Le transfert est théoriquement impossible. On peut :

- soit consulter le bureau d'étude afin d'augmenter la tolérance de la condition,
- soit diminuer la tolérance d'une ou de plusieurs composantes.

EXEMPLE 1 :

Si $A = 60 \pm 0,25$ et $B = 35 \pm 0,15$, la tolérance de $Cf1$ est négative et le transfert est théoriquement impossible.

DEUXIÈME CAS :

La relation 3 est satisfaite mais la tolérance de la cote de fabrication est trop faible pour la réaliser à l'aide des moyens prévus.

La solution est identique à celle du premier cas.

EXEMPLE 2 :

Si $A = 60 \pm 0,15$ et $B = 35 \pm 0,17$, la tolérance de $Cf1 = 0,04$; cette valeur est trop faible, car la cote est réalisée en tournage ébauche et la dispersion sur la butée est plus grande que la tolérance.

REMARQUES :

- Dans le cas où la modification des tolérances n'est pas possible ou n'est pas acceptée par le bureau d'étude, il faut changer le référentiel et réaliser la cote directement.

EXEMPLE 3 :

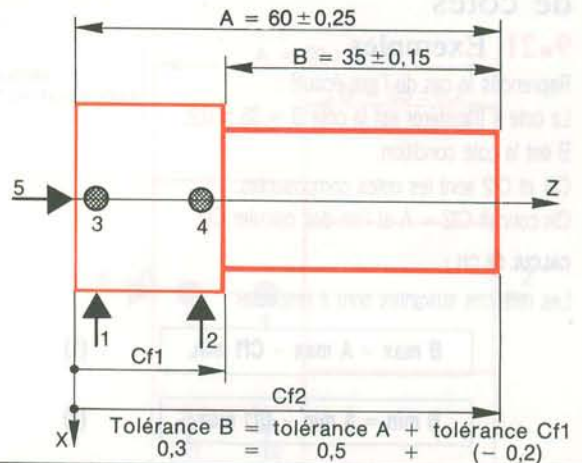
Les cotes A et B sont réalisées directement sur un tour semi-automatique.

- Le transfert de cotes réduit la tolérance de la cote usinée, et entraîne une augmentation du coût de la fabrication. Chaque fois que cela est possible, il doit être évité.

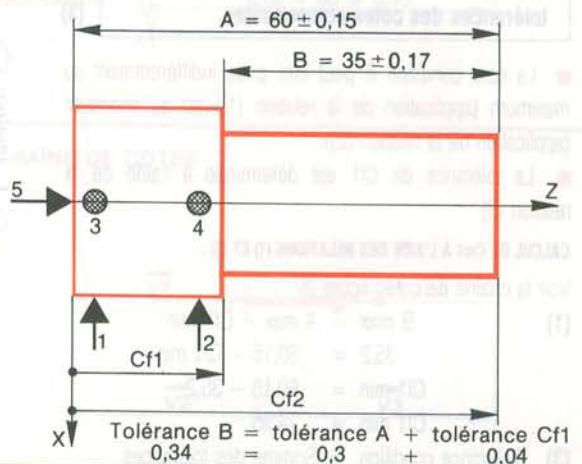
REMARQUE :

Quelle que soit la cotation de fabrication, le contrôle définitif devra se faire sur les cotes fonctionnelles données par le dessin de produit fini.

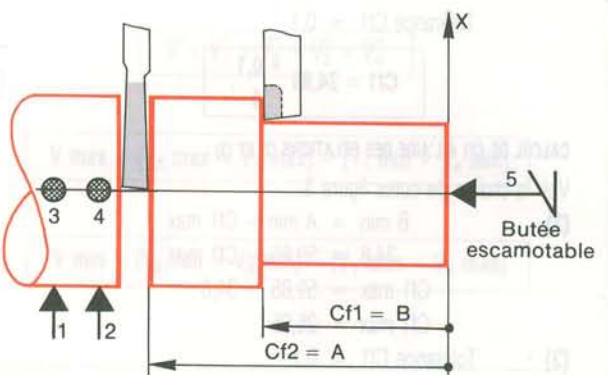
EXEMPLE 1



EXEMPLE 2



EXEMPLE 3



9.3 Méthode vectorielle simplifiée

Il existe plusieurs méthodes de transfert de cotes ; elles sont toutes basées sur le calcul vectoriel.

Cette méthode est surtout intéressante lorsqu'il y a un grand nombre de chaînes ou un nombre important de composantes dans une même chaîne. C'est le cas notamment en simulation d'usinage (chapitre 17).

Cette méthode évite de poser les équations (1) ou (2) (§ 9.2) ; les calculs étant méthodiquement effectués à l'aide d'un tableau.

9.31 Étude de la méthode

Reprenons le cas de l'axe épaulé :

- La cote condition est la cote fonctionnelle B.
- La cote cherchée est la cote machine Cf1.
- La cote condition peut être prise maximale (application de la règle (1)) ou minimale (application de la règle (2)).

Détermination de Cf1 en prenant la cote condition B minimale.

$$(2) \quad B_{\min} = A_{\min} - Cf1_{\max}$$

$$(2') \quad B_{\min} + Cf1_{\max} = A_{\min}$$

De l'examen de l'égalité (2), on tire la règle suivante :

Si la cote condition est minimale, les composantes de même sens que la condition sont minimales et les cotes composantes de sens opposé sont maximales.

En effet, la chaîne de cotes montre que A a le même sens que la cote condition B et la relation (2) montre que ces deux cotes sont minimales. De même la cote Cf1 a le sens opposé à celui de la cote condition B et elle est maximale.

Exploitation du tableau

La somme de chaque colonne étant égale, on obtient par soustraction la cote Cf1 max cherchée :

$$Cf1_{\max} = A_{\min} - B_{\min}$$

Le calcul de la tolérance de Cf1 s'effectue en appliquant la règle (3) :

$$\text{Tolérance } B = \text{tolérance } Cf1 + \text{tolérance } A.$$

De l'examen de l'égalité (2), on tire les règles suivantes :

La valeur de la cote condition minimale doit être inscrite dans la même colonne que les cotes composantes maximales.

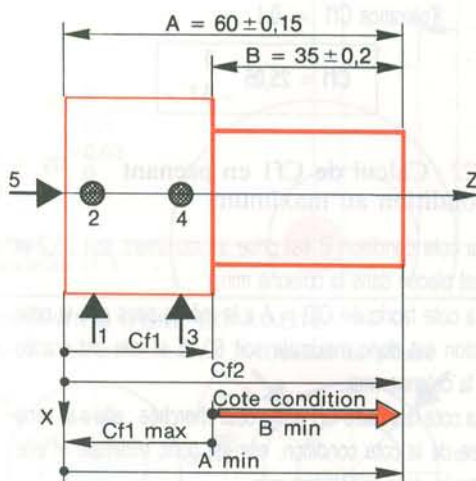
En effet, on remarque dans cette égalité (2')

$$B_{\min} + Cf1_{\max} = A_{\min}$$

que la condition B min est placée avec la composante Cf1 max.

La somme des cotes inscrites dans la colonne des cotes minimales est égale à la somme des cotes inscrites dans la colonne des cotes maximales (cote condition minimale incluse).

En effet, l'égalité (2') montre que, la cote condition minimale B min étant placée avec la cote composante Cf1 max, il y a égalité avec la cote composante A min.



		Condition min →	
Cotes	min →	max ←	Tolérances
Condition B		B min	Tolérance B
Composante cherchée Cf1		Cf1 max = ?	Tolérance Cf1 = ?
Composante connue A	A min		Tolérance A
	A min = A min		

9.32 Exemple

9.321 Calcul de Cf1 en prenant la condition au minimum

■ La cote condition B est prise au minimum soit 34,8 et elle est placée dans la colonne max.

■ La cote fabriquée Cf1 est la cote cherchée ; elle a le sens inverse de la cote condition, elle est donc maximale et elle est placée dans la colonne max.

■ La cote fabriquée Cf2 = A a le même sens que la cote condition, elle est donc minimale soit 59,85 et elle est placée dans la colonne min.

■ La somme des deux colonnes étant identique, on obtient la valeur maximale de Cf1 par soustraction :

$$Cf1 \text{ max} = 59,85 - 34,8$$

$$Cf1 \text{ max} = 25,05$$

Appliquons la règle (3) :

Tolérance cote condition = Somme des tolérances des cotes composantes.

$$\text{Tolérance B} = \text{tolérance Cf1} + \text{tolérance A.}$$

$$0,4 = \text{tolérance Cf1} + 0,3$$

$$\text{Tolérance Cf1} = 0,1.$$

$$Cf1 = 25,05 \begin{matrix} 0 \\ - 0,1 \end{matrix}$$

9.322 Calcul de Cf1 en prenant la condition au maximum

■ La cote condition B est prise au maximum soit 35,2 et elle est placée dans la colonne min.

■ La cote fabriquée Cf2 = A a le même sens que la cote condition est donc maximale soit 60,15 et elle est placée dans la colonne max.

■ La cote fabriquée Cf1 est la cote cherchée ; elle a le sens inverse de la cote condition, elle est donc minimale et elle est placée dans la colonne min.

■ La somme des deux colonnes étant identique, on obtient la valeur minimale de Cf1 par soustraction :

$$Cf1 \text{ min} = 60,15 - 35,2$$

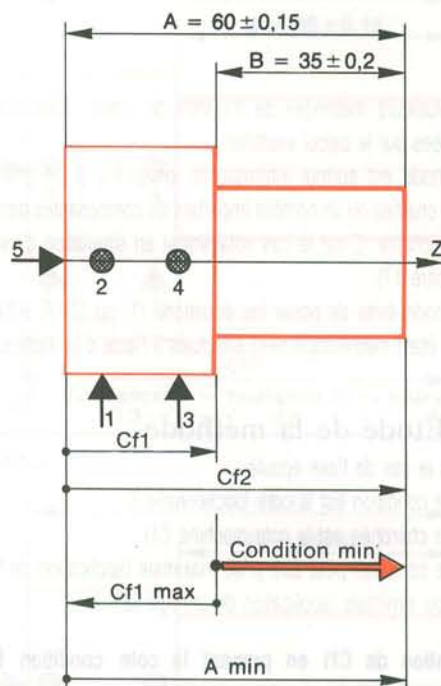
$$Cf1 \text{ min} = 24,95.$$

Appliquons la règle (3) :

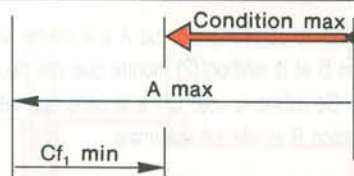
$$\text{Tolérance Cf1} = 0,4 - 0,3$$

$$= 0,1.$$

$$Cf1 = 24,95 \begin{matrix} 0,1 \\ + 0 \end{matrix}$$



Cotes	Cond. min →		Tolérances
	min →	← max	
B = 35 ± 0,2		34,8	0,4
Cf1 = ?		/ ?	/ ?
A = 60 ± 0,15	59,85		0,3
Somme	59,85	59,85	



Cotes	Cond. max ←		Tolérances
	min →	← max	
B = 35 ± 0,2	35,2		0,4
A = 60 ± 0,15		60,15	0,3
Cf1 = ?	/ ?	/ ?	/ ?
Somme	60,15	60,15	

10 Transferts géométriques

Les transferts géométriques concernent des transferts faisant intervenir des tolérances géométriques de position*.

La méthode générale est la même que pour les transferts de cotes.

REMARQUE :

La résolution se présente sous deux formes générales :

- l'une valable pour les tolérances de localisation, de coaxialité et de symétrie ;
- l'autre convenant aux tolérances d'inclinaison, de parallélisme et de perpendicularité.

10.1 Transfert d'une coaxialité

DÉTERMINATION D'UNE COTE DE BRUT :

La cote **X min** sert notamment au calcul de la cote du brut (on ajoute à la valeur X min, ainsi calculée, la valeur du copeau minimal. Voir chapitre 17).

D'après la chaîne de cotes, on a :

$$\begin{aligned} \frac{\odot}{2} \max &= R \max - (X \min + r \min) \\ 0,5 &= 30 - (X \min + 20) \end{aligned}$$

$$X \min = 9,5.$$

DÉTERMINATION D'UNE COAXIALITÉ :

On s'impose une épaisseur minimale de matière $E \min = 9,5$ (condition de résistance).

Soit à calculer la tolérance de coaxialité qui permettra de respecter cette condition sachant que la mise en position axiale est réalisée par un vé à 90°.

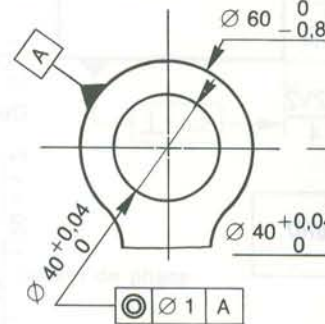
$$\begin{aligned} E \min &= R \min - (r \max + X/2 \max) \\ 9,5 &= 29,6 - (20,02 + X/2 \max) \\ X/2 \max &= 29,6 - (20,02 + 9,5) \\ X/2 \max &= 0,08 \end{aligned}$$

$$X \max = 0,16.$$

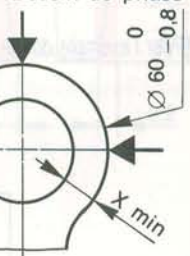
TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES DE POSITION		
Inclinaison	Parallélisme	Perpendicularité
Localisation	Coaxialité	Symétrie

TRANSFERT D'UNE COAXIALITÉ

Dessin de définition



Dessin de phase



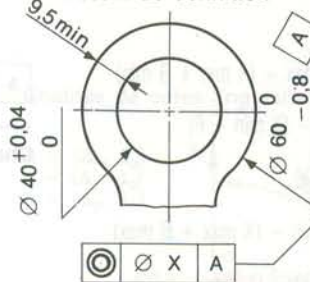
Chaîne de cotes

$$\begin{aligned} R &= 30 \begin{matrix} 0 \\ -0,4 \end{matrix} \\ r &= 20 \begin{matrix} +0,02 \\ 0 \end{matrix} \\ \odot &= 0 \pm 0,5 \end{aligned}$$

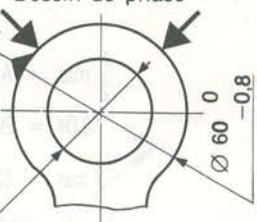
Tolérance de coaxialité $\odot 1$

DÉTERMINATION D'UNE COAXIALITÉ

Dessin de définition



Dessin de phase



Chaîne de cotes

Tolérance de coaxialité : X

* Voir G.D. chapitre 17.

10.2 Transfert d'une localisation

Le dessin de phase montre que le procédé de fabrication donne, pour l'axe du trou, une zone de tolérance parallélogramme à section carrée de côté t' .

Cette zone de tolérance doit rester inscrite à l'intérieur du cylindre de $\varnothing t$ imposé par le dessin de définition.

Soit :

$$t' = \frac{t\sqrt{2}}{2} \text{ d'où } \frac{t'}{2} = \frac{t\sqrt{2}}{4}$$

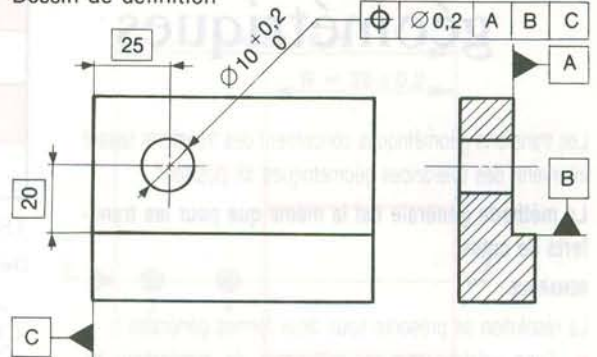
Pour l'exemple donné, on a :

$$\frac{t'}{2} = \frac{0,2\sqrt{2}}{4}$$

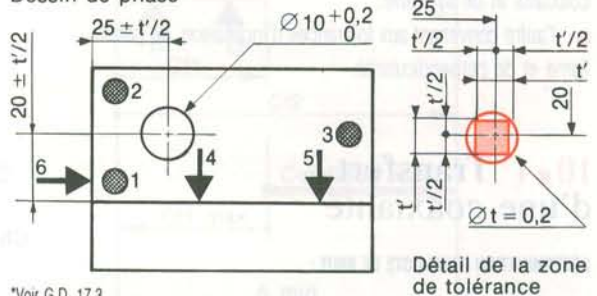
$$\frac{t'}{2} = 0,0707$$

TRANSFERT DE POSITION

Dessin de définition



Dessin de phase



*Voir G.D. 17.3.

10.3 Transfert d'une symétrie

Le dessin de phase montre que la position de la rainure est donnée par la cote X au lieu de la tolérance de symétrie.

La cote condition est la tolérance de symétrie ($t = 0,08$).

On peut écrire cette cote condition : $t = 0 \pm 0,04$.

Les cotes et les tolérances qui interviennent dans la chaîne sont les demi-cotes affectées de la demi-tolérance.

D'après la chaîne de cotes, on a :

$$\frac{t}{2} \max = A \max - (X \min + B \min)$$

$$0,04 = 20 - (X \min + 6)$$

$$X \min = 13,96$$

$$\frac{t}{2} \min = A \min - (X \max + B' \max)$$

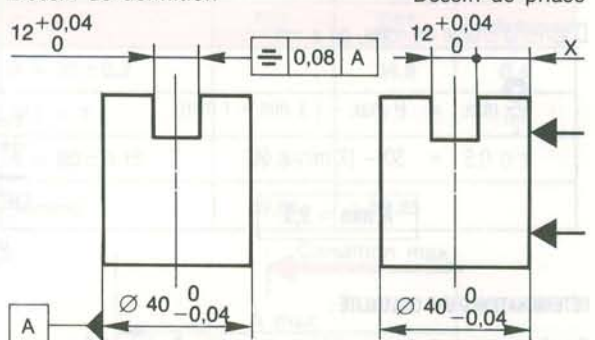
$$-0,04 = 19,98 - (X \max + 6,02)$$

$$X \max = 14$$

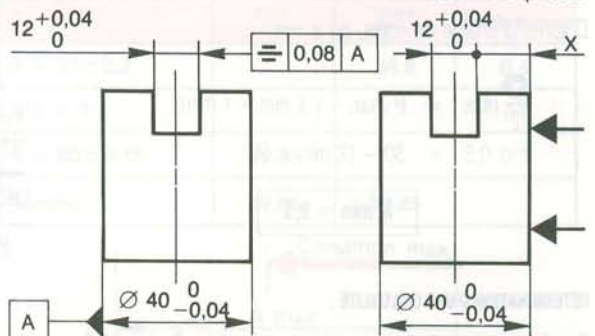
$$X = 13,98 \pm 0,02$$

TRANSFERT D'UNE SYMÉTRIE

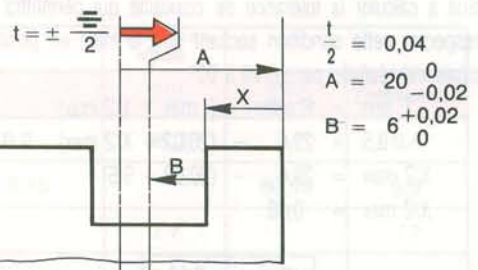
Dessin de définition



Dessin de phase



Chaîne de cotes



10.4 Transfert d'une inclinaison

Le dessin de phase montre que la face inclinée est usinée en ayant la pièce en appui plan sur sa face horizontale. L'angle obtenu est X .

Calcul de la valeur X tolérée :

1° Écrire la tolérance de perpendicularité en valeur angulaire.

$$\tan \alpha = \frac{0,2}{34} \approx 0,00588$$

$$\alpha \approx 20'$$

2° Choisir un système d'axes.

A partir d'un point O quelconque, tracer trois axes parallèles aux côtés des angles a , b et x .

Le sens de chaque axe est indifférent.

3° Tracer la chaîne de cotes angulaires.

Cette chaîne de cotes est constituée d'arcs de cercles orientés.

On applique à la chaîne la règle générale. Soit :

$$\begin{aligned} b \max &= a \max - X \min \\ 51^\circ &= 90^\circ 20' - X \min \\ X \min &= 39^\circ 20' \\ b \min &= a \min - X \max \\ 49^\circ &= 89^\circ 40' - X \max \\ X \max &= 40^\circ 40' \end{aligned}$$

$$X = 40^\circ \pm 40'$$

VÉRIFICATION :

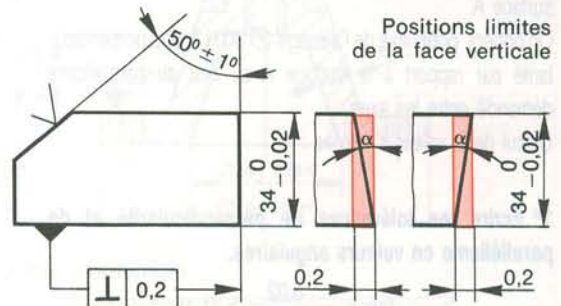
$$\begin{aligned} \text{Tolérance de } b &= \text{tolérance de } a + \text{tolérance de } X \\ \pm 1^\circ &= (\pm 20') + (\pm 40') \end{aligned}$$

REMARQUES :

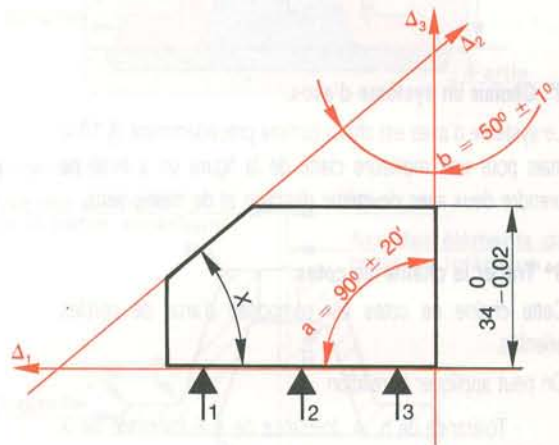
- Cette méthode ne s'applique que si les axes Δ_1 , Δ_2 et Δ_3 sont coplanaires.
- Si l'inclinaison à transférer est oblique par rapport au plan de projection, on effectue deux transferts par rapport à deux plans de projection.

TRANSFERT D'UNE INCLINAISON

Dessin de définition

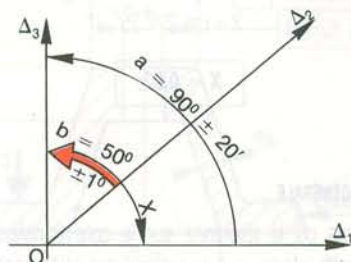


Dessin de phase



Chaînes de cotes angulaires

$$\begin{aligned} X &= (\Delta_1, \Delta_2) \\ a &= (\Delta_1, \Delta_3) \\ b &= (\Delta_2, \Delta_3) \end{aligned}$$



10.5 Transfert d'un parallélisme

Le dessin de phase montre que les alésages $\varnothing 40 \text{ H } 7$ et $\varnothing 30 \text{ H } 7$ sont usinés, la pièce étant en appui plan sur la surface A.

On obtient, pour l'axe de l'alésage $\varnothing 30 \text{ H } 7$, une perpendicularité par rapport à la surface A au lieu du parallélisme demandé entre les axes.

Calcul de la valeur X tolérée :

1° Écrire les tolérances de perpendicularité et de parallélisme en valeurs angulaires.

$$\tan \alpha = \frac{0,02}{35} = 5,71 \cdot 10^{-4}$$

$$\alpha \approx \pm 2'$$

$$\tan \beta = \frac{0,04}{35} = 1,14 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta \approx \pm 4'$$

2° Choisir un système d'axes.

Le système d'axes est choisi comme précédemment (§ 10.4) mais pour une meilleure clarté de la figure on a évité de prendre deux axes de même direction et de même sens.

3° Tracer la chaîne de cotes.

Cette chaîne de cotes est composée d'arcs de cercles orientés.

On peut appliquer la relation :

$$\begin{aligned} \text{Tolérance de } b &= \text{tolérance de } a + \text{tolérance de } X \\ \pm 4' &= \pm 2' + x \\ x &= \pm 2'. \end{aligned}$$

En convertissant cette tolérance angulaire en tolérance de perpendicularité :

$$X = \tan 2' \times 35$$

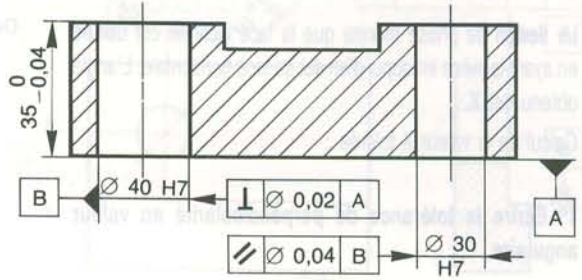
$$X = 0,02.$$

REMARQUE GÉNÉRALE :

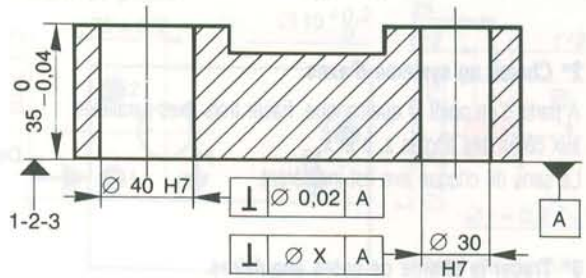
Dans le cas où la tolérance sur la cote transférée (cote condition) est inférieure à la somme des tolérances sur les cotes composantes, il est nécessaire de réduire les tolérances sur les cotes restantes.

TRANSFERT D'UN PARALLÉLISME

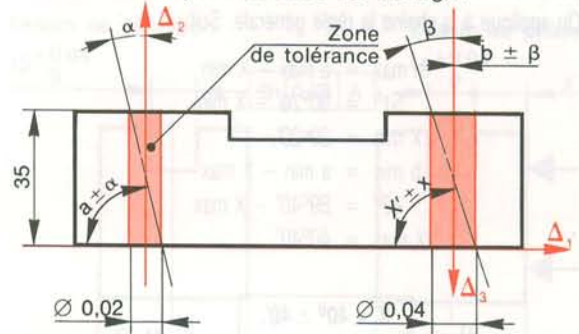
Dessin de définition



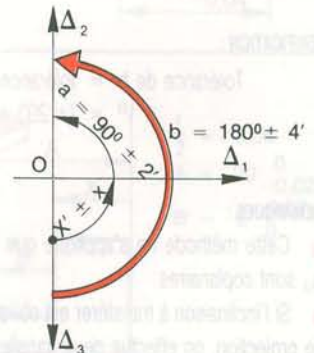
Dessin de phase



Positions limites pour les axes des alésages



Chaîne de cotes angulaires



$$\begin{aligned} a &= (\Delta_1, \Delta_2) \\ b &= (\Delta_2, \Delta_3) \\ X' &= (\Delta_1, \Delta_3) \end{aligned}$$

11 Cotes et tolérances des bruts

Une pièce brute est définie en ajoutant à la forme du « brut minimal théorique » les impératifs particuliers au procédé d'élaboration :

- dépouille,
- arrondis de raccordement,
- tolérances d'obtention.

Les cotes du brut minimal théorique sont définies lors de la simulation d'usinage (chapitre 17).

11.1 Cotes du brut

On indique sur le plan de pièce brute :

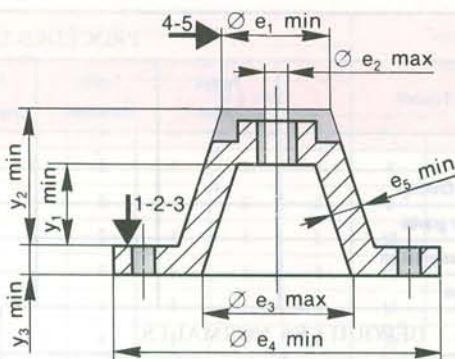
- 1° Les faces de départ d'usinage à l'aide des symboles de mise en position géométrique.
- 2° Les cotes de position des surfaces par rapport aux surfaces de départ d'usinage (cotes y).
- 3° Les cotes des dimensions des éléments, tels que bossages, épaisseurs de parois, diamètres des noyaux et toutes formes particulières (cotes e).
- 4° Les dépouilles (cotes d).

REMARQUE :

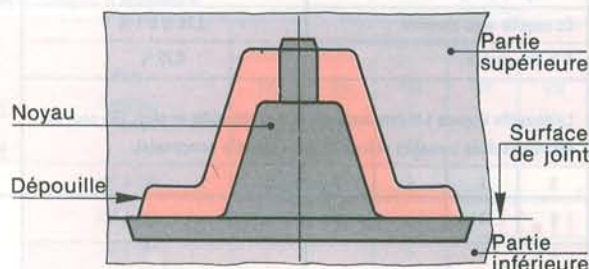
Seul un accord avec le fabricant permet de fixer les tolérances des pièces brutes. A cet effet, les valeurs indiquées dans les tableaux de ce chapitre doivent être considérées comme une première approximation.

PIÈCES MOULÉES

Brut minimal théorique



Procédé d'obtention



Pièce brute

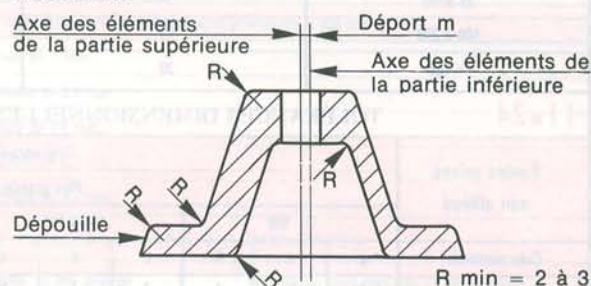
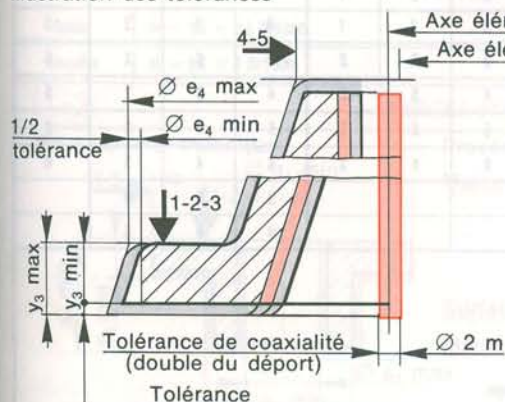
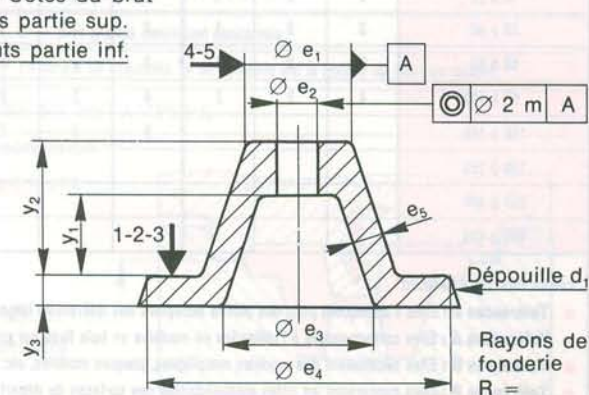


Illustration des tolérances



Cotes du brut



11.2

PIÈCES MOULÉES

11.21

PROCÉDÉS DE MOULAGE

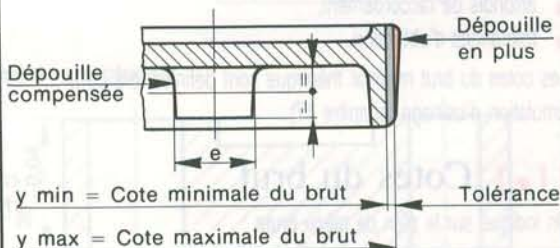
Procédé	Fontes grises	Fontes malléables	Fontes à graphite sphér.	Aciers de moulage	Alliages cuivreux	Alliages d'aluminium	Alliages de zinc
En sable	+	+	+	+	+	+	
En carapace « Croning »	+			+	+	+	
En coquille par gravité	+				+	+	
En coquille sous pression					+	+	+
A la cire perdue				+	+	+	

11.22

DÉPOUILLES NORMALES

En sable	2 % à 5 %
En coquille par gravité	2 % à 3 %
En coquille sous pression	0,75 % à 1 %
A la cire perdue	0,75 %

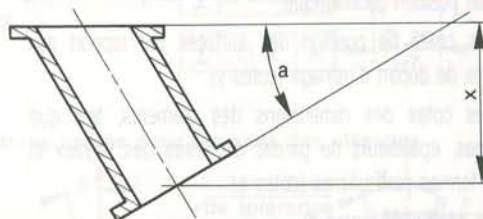
La dépouille s'ajoute à la cote maximale du brut (dépouille en plus). Elle peut être répartie pour les bossages et les nervures (dépouille compensée).



11.23

TOLÉRANCES D'INCLINAISON

x	a
≤ 25	1°30'
25 à 100	1°
100 à 250	45'
> 250	30'



11.24

TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES POUR MOULAGES EN SABLE

NFA32-011

Fontes grises non alliées	Tolérances de position (cotes y)												Tol. éléments (cotes e)
	Plus grande dimension de la pièce												
	≤ 100			100 à 160			160 à 250			250 à 630			
Cote nominale	L	A	B	L	A	B	L	A	B	L	A	B	P
≤ 16	2	1	1	2	1	1	2	1	1	3	2	1	2
16 à 25	2	2	1	2	2	1	2	2	1	3	2	1	3
25 à 40	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	3
40 à 63	3	2	2	3	2	2	3	2	2	4	3	2	5
63 à 100	4	3	2	4	3	2	4	3	2	4	3	2	5
100 à 160				5	3	2	5	3	2	5	4	3	8
160 à 250							6	4	3	6	4	3	8
250 à 400										8	5	4	
400 à 630										9	6	5	

CHOIX DES TOLÉRANCES

- **Tolérances L** : Elles s'appliquent pour des pièces acceptant des tolérances larges.
- **Tolérances A** : Elles correspondent à l'utilisation de modèles en bois fixés sur plaques.
- **Tolérances B** : Elles nécessitent des modèles métalliques, plaques modèles, etc.
- **Tolérances P** : Elles concernent les cotes indépendantes des surfaces de départ d'usinage.

Fontes malléables - Fontes à graphite sphéroïdal - Aciers

NFA 32-012

■ Tolérances L, A, B :

Mêmes significations qu'au tableau précédent (fontes grises non alliées).

■ Tolérances P_L, P_A, P_B :

Tolérances sur les éléments de classe L, A ou B.

Cote nominale	Tolérances de position (cotes y)						Tolérances d'éléments (cotes e)		
	Plus grande dimension de la pièce								
	≤ 250			250 à 1000					
Tolérances	L	A	B	L	A	B	P _L	P _A	P _B
≤ 16	4	2	2	4	3	2	4	4	4
16 à 40	4	2	2	4	3	2	6	6	4
40 à 65	4	4	2	4	4	2	12	8	6
65 à 100	4	4	2	6	4	2	12	8	6
100 à 160	6	4	2	6	4	2	14	10	8
160 à 250	8	4	4	8	6	4	16	12	10
250 à 400				10	6	5			

Alliages de cuivre et alliages d'aluminium

Cote nominale	Plus grande dimension de la pièce					Cote nominale	Plus grande dimension de la pièce				
	≤ 100	100 à 160	160 à 250	250 à 400	400 à 630		100 à 160	160 à 250	250 à 400	400 à 630	630 à 1000
		160	250	400	630		160	250	400	630	1000
≤ 25	1	1	1	1	1	100 à 160	2	2	3	3	5
25 à 40	1	1	1	1	2	160 à 250		3	3	4	5
40 à 63	1	2	2	2	2	250 à 400			4	4	6
63 à 100	2	2	2	2	3	400 à 630				5	6

11.25

TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES DES MOULAGES DE PRÉCISION

Procédés	Tolérances en % pour dimensions inférieures à 250 mm
Au sable auto-siccatif	1 % avec une tolérance minimale de 1 mm.
En carapace « Croning »	0,6 % avec une tolérance minimale de 0,4 mm.
En coquille par gravité	1 % avec une tolérance minimale de 0,4 mm.
En coquille sous pression	0,6 % avec une tolérance minimale de 0,2 mm.
A la cire perdue	0,4 % avec une tolérance minimale de 0,1 mm.

11.26

DIAMÈTRES MINIMAUX DES TROUS VENANT DE FONDERIE

Moulage en sable : 15 mm environ	En coquille par gravité : 5 mm environ	En coquille sous pression : 1 mm environ
----------------------------------	--	--

11.27

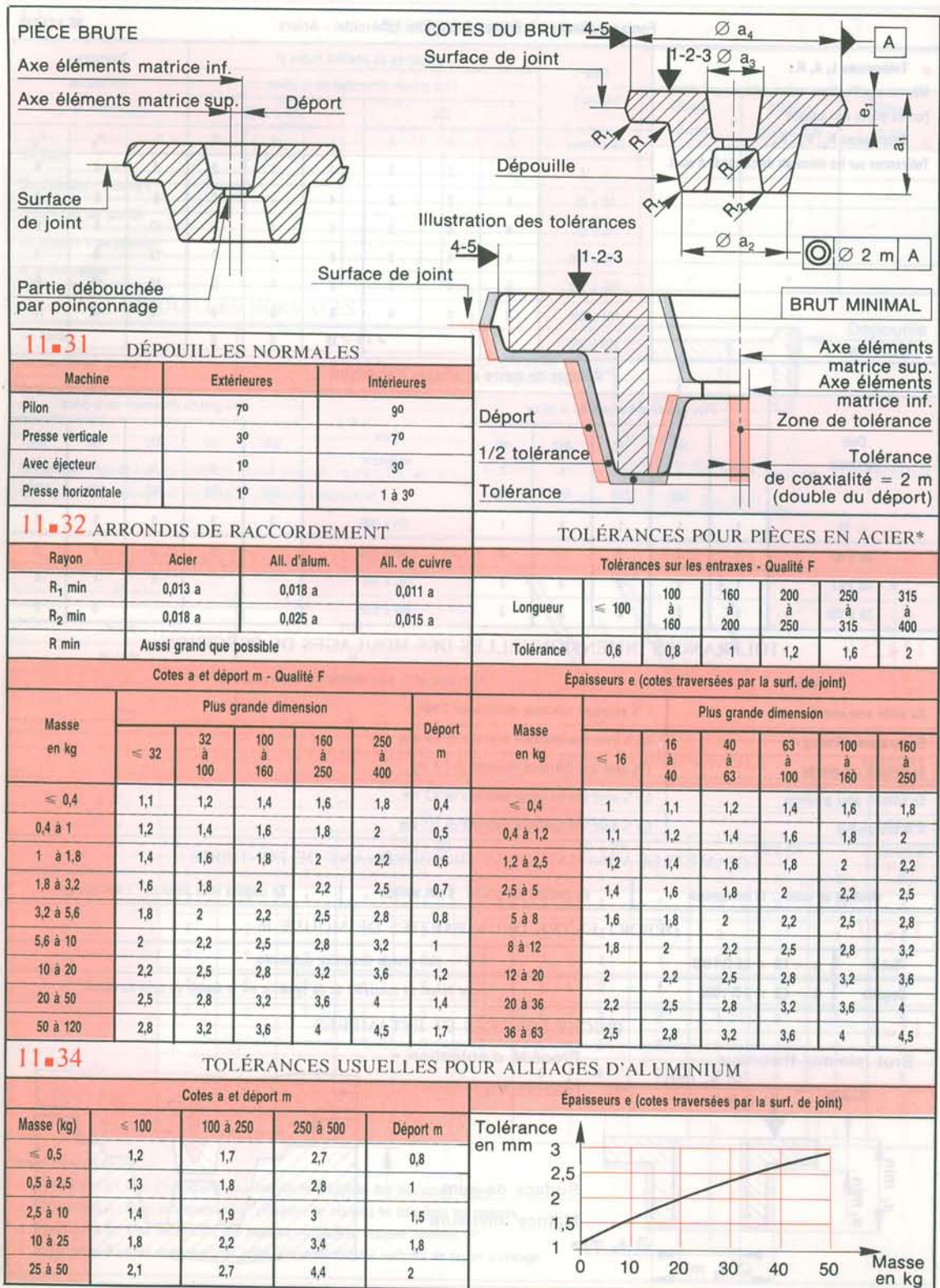
DÉPORT ENTRE DEUX PARTIES DE MOULE m

Sable	$m = 1,6 + 2,5 D/1000$	$D =$ plus grande dimension concernée.
Coquille	$m = 0,6 + 2 D/1000$	Le défaut de coaxialité ou de symétrie est le double de celui du déport.

11.3

PIÈCES FORGÉES ET ESTAMPÉES

Brut minimal théorique	Procédé d'obtention Matrice supérieure Surface de joint Matrice inférieure
-------------------------------	--



* Surface de joint plane et aciers à moins de 0,65 % de carbone - D'après E02-500 et documents - SNEF - ADETIEF.

12 Choix des surfaces de départ

12.1 Généralités

Le premier document réalisé par le bureau des méthodes est l'avant-projet d'étude de fabrication, c'est une suite logique des phases.

L'établissement de la première phase dépend des spécifications (par exemple dimensions, tolérances de position...) du dessin de définition, liant les surfaces usinées aux surfaces brutes.

Une analyse méthodique du dessin de définition est nécessaire afin de respecter ces spécifications.

Le résumé de cette analyse effectué sous forme de tableau conduit au choix des surfaces de départ (référentiel de la première phase).

12.2 Analyse du dessin de définition

On peut procéder dans l'ordre suivant :

1° Nombre de pièces à réaliser.

2° Cadence.

3° Matière.

4° Étude des formes de la pièce.

5° Établissement d'un repère R (o, $\vec{x}$, $\vec{y}$, $\vec{z}$), les axes figurant dans chaque vue.

6° Traçage en rouge et repérage des surfaces usinées.

7° Traçage en vert et repérage des surfaces brutes.

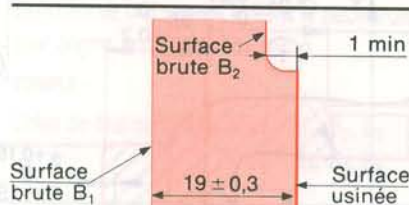
8° Analyse des spécifications suivant les trois axes et pour toutes les vues :

- dimensions et leurs tolérances,
- formes et leurs tolérances,
- positions et leurs tolérances,
- états de surface,
- spécifications particulières (par exemples : usinages particuliers comme le rodage, orientation des stries d'usinage, etc.).

9° Recherche et choix des cotes de liaison au brut : S'il y a deux ou plusieurs cotes de liaison au brut sur un même axe, une seule doit être retenue.

CRITÈRES DE CHOIX :

- Entre deux cotes dont l'une est unilimite (1 min) et l'autre bilimite ($19 \pm 0,3$), il faut de préférence choisir la cote bilimite.
- Entre deux cotes bilimites, il faut choisir celle qui a la plus faible tolérance.



12.3 Choix des surfaces de départ

On peut effectuer ce choix en utilisant un tableau à deux entrées. Ce tableau résume les spécifications liant les surfaces usinées aux surfaces brutes, suivant les trois axes.

L'examen des formes et de l'étendue des surfaces brutes permet de définir les degrés de liberté pouvant être correctement éliminés par ces surfaces et d'affecter les normales de repérage qui en résulte.

Le choix définitif des six normales de repérage donne le référentiel de mise en position pour la première phase.

Analyse	Axes		
	ox	oy	oz
Repères des surfaces brutes			
Repères des surfaces usinées			
Spécifications liant les surfaces brutes et les surfaces usinées			
Intervalles de tolérances (dimensions, positions)			
Nombre de degrés de liberté pouvant être éliminés sur les surfaces brutes			
Surface du brut (état de surface, plan de joint, etc.)			
N° des normales de repérage de mise en position			
Cotes de définition du brut			

12.4 Exemple

Soit à déterminer le référentiel de départ pour la chape de joint de cardan définie page ci-contre.

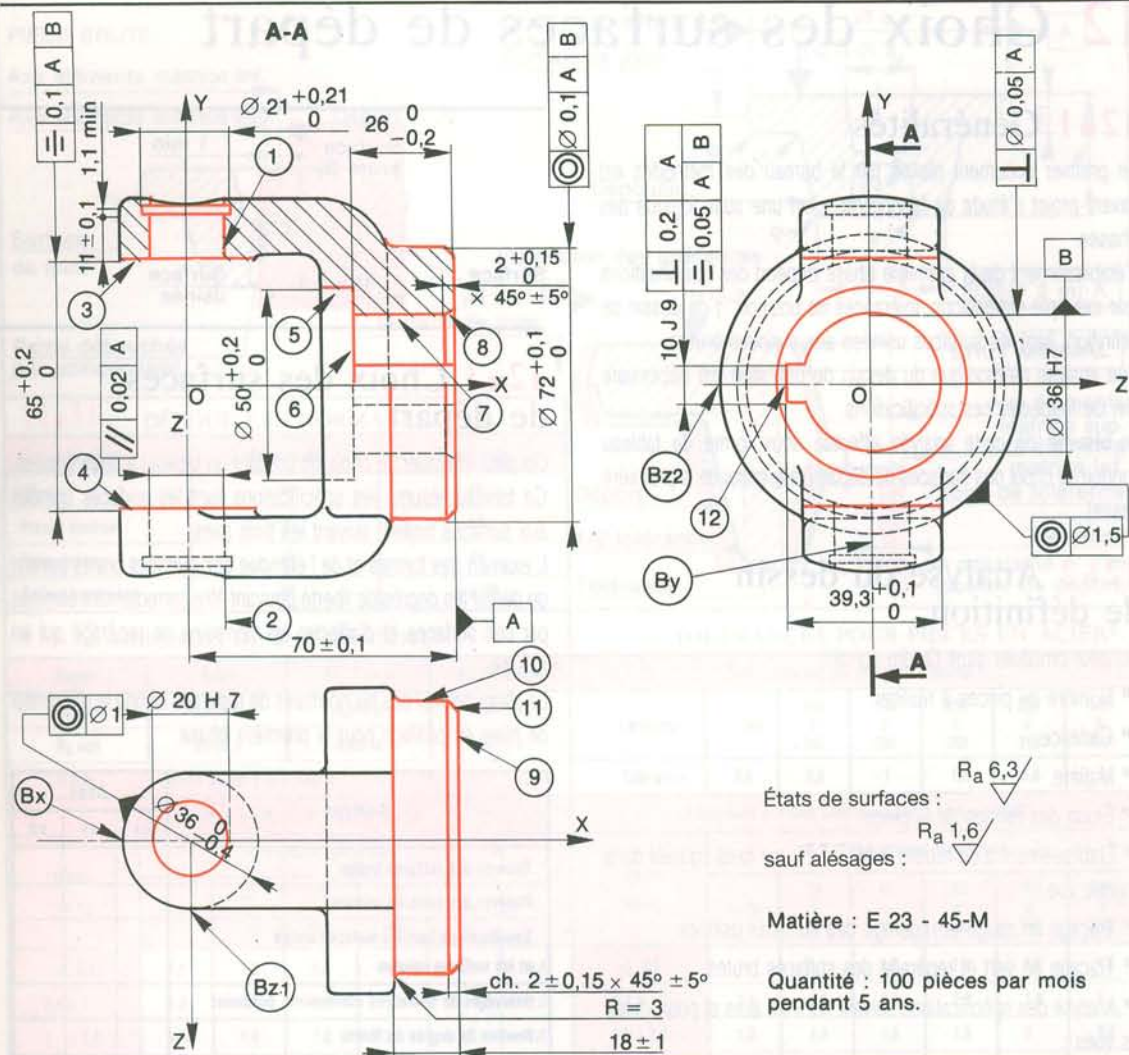
12.4.1 Analyse du dessin de définition

1° Nombre de pièces : 5000.

2° Cadence : 100 pièces/mois.

3° Matière : E 23-45-M.

4° Étude des formes : ...



5° Établissement du repère R ($O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$).

6° Traçage en rouge et repérage des surfaces usinées.

7° Traçage en vert et repérage des surfaces brutes.

8° Analyse des spécifications suivant les trois axes.

9° Recherche des cotes de liaison au brut :

- coaxialité Ø 1 entre B_x B_{z1} et les Ø (1) et (2).
- coaxialité Ø 1,5 entre B_y B_{z2} et le Ø (7).

12.42 Choix des surfaces de départ

Axes	Repères des surfaces brutes	Repères des surfaces usinées	Spécifications liant les surfaces brutes et les surfaces usinées	Intervalle de tolérance (dimensions, positions)	Nb. de degrés de liberté pouvant être éliminés sur surfaces brutes	Nature du brut (état de surface, plan de joint, dépouille)	N° des normales de repérage de mise en position	Cotes de définition du brut
ox	B_x	1,2	◎ Ø 1	1	2	plan de joint	1,2	B_1, B_2, B_3
oy	B_y	7	◎ Ø 1,5	1,5	1	plan de joint	5	B_4, B_5, B_6
oz	B_{z1}	1,2	◎ Ø 1	1	2	—	3,4	—
	B_{z2}	7	◎ Ø 1,5	1,5	1	—	6	—

L'examen du tableau montre que la nature et l'étendue des surfaces brutes permet d'installer :

- deux normales de repérage sur B_x ,
- une normale de repérage sur B_y ,
- deux normales de repérage sur B_{z_1} ,
- une normale de repérage sur B_{z_2} .

Soit un centrage long 1,2 et 3,4 et un centrage court 5,6.

12.43 Cotes de définition du brut

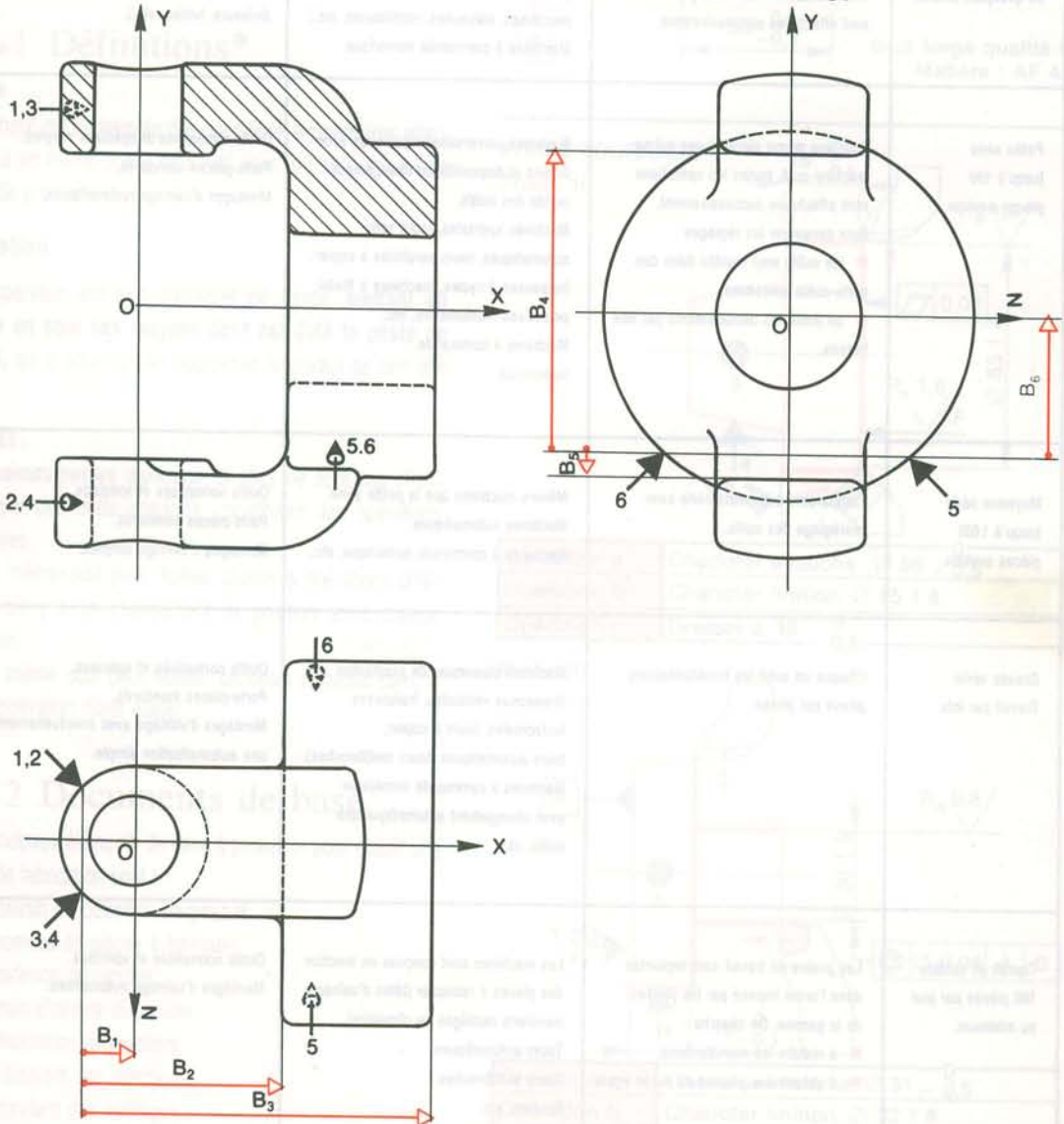
Le référentiel de mise en position de la pièce pour la première phase d'usinage permet de définir les « cotes de brut »*. Les cotes de brut servent à définir la pièce brute. Elles ont toutes pour origine le référentiel de départ.

EXEMPLE :

Cotes de brut suivant l'axe ox : B_1, B_2, B_3

oy : B_4, B_5, B_6 .

SCHEMA DE MISE EN POSITION DE LA PIÈCE AVEC INDICATION DES COTES DE BRUT



* Voir également le chapitre 17 : Calcul des cotes fabriquées.

13 Méthodes de fabrications

On cherche, en fonction du délai demandé ou de la cadence de production, à obtenir un coût minimal pour la fabrication.

Le tableau ci-dessous donne, en première approximation, les méthodes générales de fabrication en fonction du nombre de pièces à réaliser.

Type de fabrication	Organisation	Machines	Outillages
Unitaire ou quelques pièces.	Pour une même pièce et une même machine-outil, toutes les opérations sont effectuées successivement.	Machines universelles classiques (tours parallèles, fraiseuses, perceuses, aléseuses, rectifieuses, etc.). Machines à commande numérique.	Outils normalisés. Porte-pièces standards (mandrins, étaux, diviseurs, brides, etc.).
Petite série jusqu'à 100 pièces environ.	Pour une même pièce et une même machine-outil, toutes les opérations sont effectuées successivement. Pour conserver les réglages : ■ les outils sont montés dans des porte-outils amovibles, ■ on limite les déplacements par des butées.	Machines universelles classiques avec butées et dispositifs de changement rapide des outils. Machines spéciales, tours semi-automatiques, tours parallèles à copier, fraiseuses à cycles, machines à fileter, perceuses multibroches, etc. Machines à commande numérique.	Outils normalisés et spéciaux simples. Porte-pièces standards. Montages d'usinage rudimentaires.
Moyenne série jusqu'à 1000 pièces environ.	Comparable à la petite série avec préréglage des outils.	Mêmes machines que la petite série. Machines automatiques. Machines à commande numérique, etc.	Outils normalisés et spéciaux. Porte-pièces standards. Montages d'usinage simples.
Grande série. Travail par lots.	Chaque lot subit les transformations phase par phase.	Machines classiques de production (fraiseuses verticales, fraiseuses horizontales, tours à copier, tours automatiques, tours multibroches). Machines à commande numérique avec changement automatique des outils, etc.	Outils normalisés et spéciaux. Porte-pièces standards. Montages d'usinage avec éventuellement une automatisation simple.
Travail en continu 100 pièces par jour au minimum.	Les postes de travail sont implantés dans l'ordre imposé par les phases de la gamme. On cherche : ■ à réduire les manutentions, ■ à obtenir des phases de durée égale.	Les machines sont conçues en fonction des pièces à fabriquer (têtes d'usinage, transferts rectiligne ou circulaire). Tours automatiques. Tours multibroches. Presses, etc.	Outils normalisés et spéciaux. Montages d'usinage automatisés.

14 Étude de fabrication

Une étude de fabrication a pour objet d'établir une suite logique des différentes étapes de réalisation d'une pièce. Elle doit, compte tenu des moyens disponibles :

- respecter la qualité imposée par le dessin de définition de produit,
- rendre les coûts de fabrication minimaux.

14.1 Définitions*

Phase

Une phase est l'ensemble des opérations élémentaires effectuées à un même poste de travail pour (ou sur) une même unité de production.

Opération

Une opération est tout ensemble de travail, **mettant en œuvre un seul des moyens dont est doté le poste de travail**, qui a pour but de rapprocher le produit de son état final.

EXEMPLES :

- Plusieurs passes d'usinage, si elles ne sont pas effectuées par des outils associés, constituent des opérations différentes.
- Un même outil peut réaliser plusieurs opérations différentes s'il y a un changement de position entre chaque opération.
- Un même outil peut réaliser plusieurs surfaces dans la même opération (foret étagé).

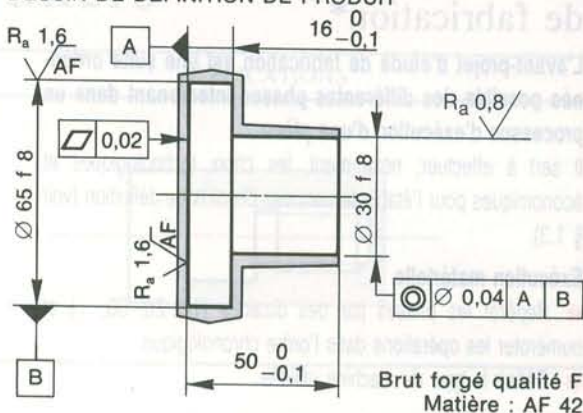
14.2 Documents de base

Les principaux éléments de base à posséder pour établir une étude de fabrication sont :

- le dessin de définition de produit,
- le nombre de pièces à fabriquer,
- la cadence demandée,
- la main-d'œuvre disponible,
- la disposition des ateliers,
- les dossiers des machines,
- le standard des outillages,
- la charge des machines.

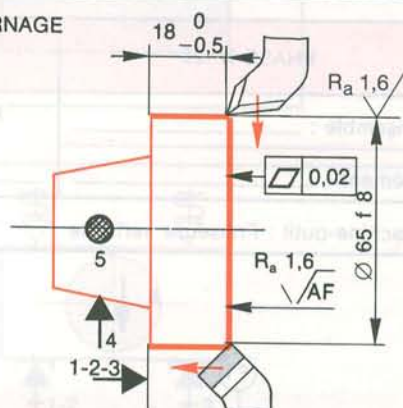
* D'après les recommandations de l'Inspection générale.

DESSIN DE DÉFINITION DE PRODUIT



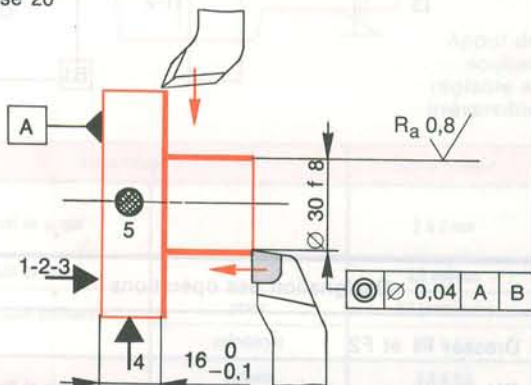
PHASE TOURNAGE

Phase 10



Opération a	Charioter ébauche $\varnothing 66 - 0,5$
Opération b	Charioter finition $\varnothing 65 f 8$
Opération c	Dresser à $18 - 0,5$

Phase 20



Opération a	Charioter ébauche $\varnothing 31 - 0,5$
Opération b	Charioter finition $\varnothing 32 f 8$
Opération c	Dresser à $16 - 0,1$

14.3 Avant-projet d'étude de fabrication*

L'avant-projet d'étude de fabrication est une suite ordonnée possible des différentes phases intervenant dans un processus d'exécution d'une pièce.

Il sert à effectuer, notamment, les choix technologiques et économiques pour l'établissement des dessins de définition (voir § 1.3).

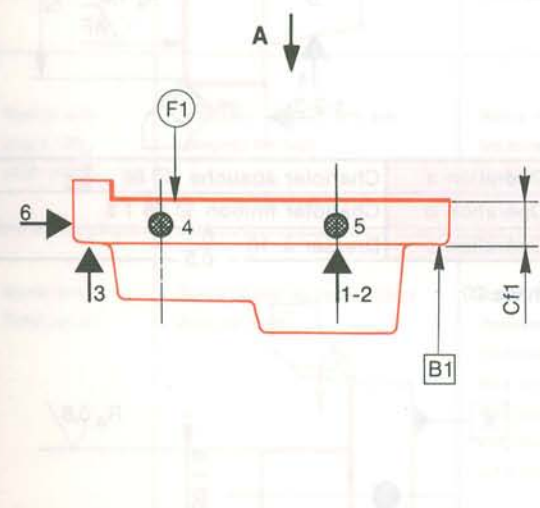
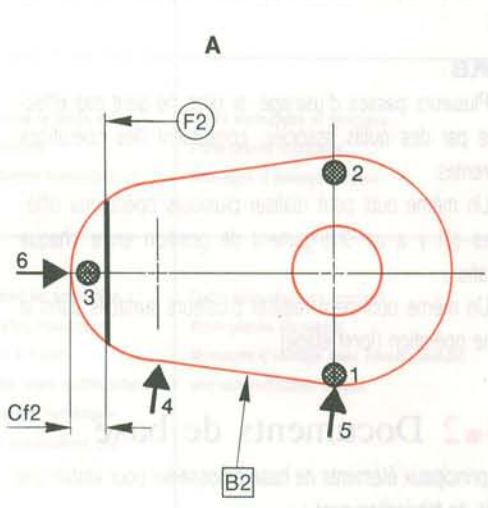
Exécution matérielle

- Repérer les phases par des dizaines (10, 20, 30, ...) et numéroter les opérations dans l'ordre chronologique.
- Définir le type de machine utilisée.

- Préciser les outils et vérificateurs utilisés.
- Dessiner la pièce en position d'usinage en choisissant un nombre de vues suffisant pour indiquer, sans équivoque, toutes les spécifications nécessaires.
- Représenter les surfaces usinées par un trait fort de largeur double.
- Indiquer la mise en position géométrique à l'aide des symboles de base (chapitre 3).
- Mettre les cotes fabriquées (chapitre 6).

REMARQUE :

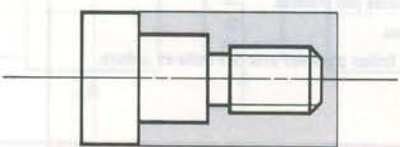
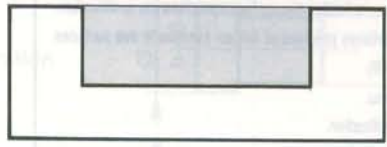
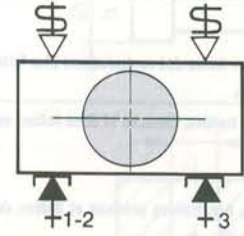
En principe, la première phase est une phase de contrôle du brut et la dernière phase une phase de contrôle final.

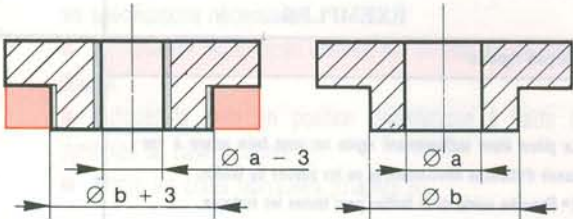
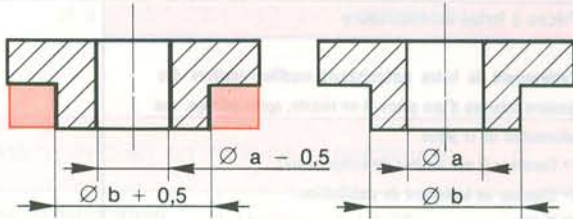
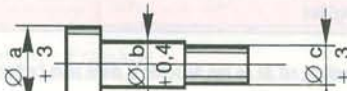
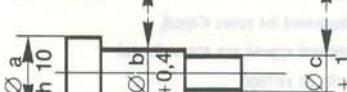
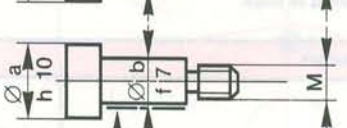
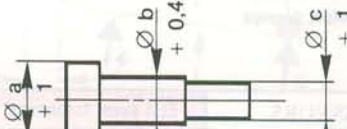
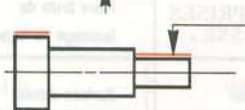
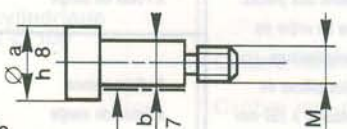
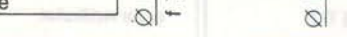
PHASE N° 20		AVANT-PROJET D'ÉTUDE DE FABRICATION	
Ensemble : _____	Programme de fabrication _____	Matière : A-U5GT	
Élément : _____		Brut : Y 34**	
Machine-outil : Fraiseuse verticale		Désignation : Fraisage	
 			
Désignation des opérations		Outils	Vérificateurs
Dresser F1 et F2 Cf1 = _____ Cf2 = _____		Fraise cylindrique 2 tailles Ø 100	Calibre min-max Calibre min-max

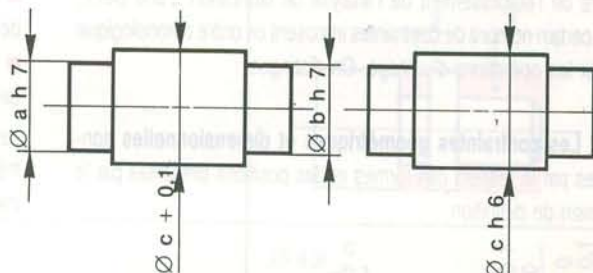
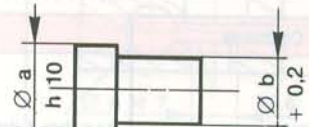
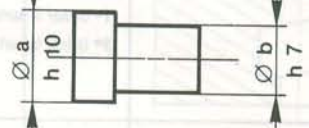
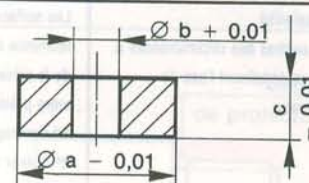
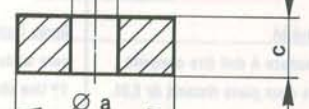
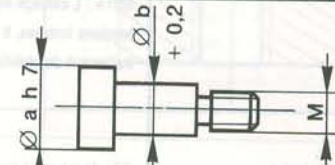
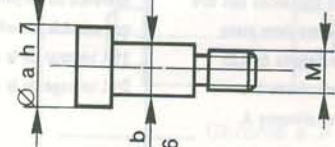
* D'après les recommandations de l'Inspection générale.

** Voir G.D. 56.6.

15 Processus particuliers

EXEMPLES		APPLICATIONS		
Pièces rigides				
La pièce étant suffisamment rigide on peut faire suivre à une passe d'ébauche directement la ou les passes de finition. 1° Ébaucher directement la ou les passes de finition. 2° Terminer par les surfaces fragiles (filetages).				
Pièces à fortes surépaisseurs				
L'enlèvement de fortes surépaisseurs modifie l'équilibre des tensions internes d'une pièce. Il en résulte, après usinage, une déformation de la pièce. 1° Ébaucher (2 mm environ de surépaisseur). 2° Effectuer un traitement de stabilisation. 3° Finition.				
Pièces semi-rigides				
La difficulté essentielle est de ne pas déformer la pièce sous l'action des efforts de maintien ou des efforts de coupe. 1° Choisir judicieusement les zones d'appui. 2° Serrage directement opposé aux zones d'appui. 3° Limiter l'intensité du serrage. 4° Réduire les efforts de coupe.				
Pièces déformables				
Sous l'action des efforts de coupe, la pièce a tendance à vibrer. 1° Immobiliser la partie flexible. 2° Utiliser un ou plusieurs appuis complémentaires. 3° Réduire les efforts de coupe.		 Appui de soutien réglable et irréversible		
SURÉPAISSEURS D'USINAGE POUR PIÈCES PRISES « DANS LA MASSE »	État avant façonnage	Façonnage		Surépaisseur
	Pièce brute de laminage ou forgeage	A l'outil de coupe		2 à 3 mm
La surépaisseur augmente avec les dimensions des pièces. Ce tableau donne un ordre de grandeur des surépaisseurs d'usinage pour des pièces de dimensions inférieures à 250 mm Voir également § 17.3	Surface usinée à l'outil de coupe	A l'outil de coupe		0,5 environ
		Rectification ordinaire	plane	0,3 (constante)
	Surface usinée à l'outil de coupe ou par rectification	A l'outil de coupe	cylindrique	0,2 à 0,5
			carbure	0,2 à 0,5
		Rectification fine	diamant	0,02 environ
			Brunissage-Galetage	0,1 à 0,3
				0,01 à 0,05

EXEMPLES	APPLICATIONS
Pièces trempées $R \leq 100 \text{ daN/mm}^2$ A partir d'une résistance à la rupture par extension de 80 daN/mm^2, il est préférable d'utiliser des outils en carbure. 1° Ébauche des surfaces précises (surépaisseur = 2), et finition éventuelle des surfaces peu précises. 2° Trempe et revenu. 3° Demi-finition et finition possibles avec des outils en carbure.	Ébauche — Trempe — Finition 
Pièces trempées $R > 100 \text{ daN/mm}^2$ Compte tenu de la résistance à la rupture par extension il est préférable d'effectuer la finition des surfaces précises par rectification. 1° Ébauche des surfaces précises et finition éventuelle des surfaces peu précises (IT > 9). 2° Trempe et revenu. 3° Finition par rectification.	1/2 finition — Trempe — Finition 
Pièces cimentées avec réserves par surépaisseur Sur les surfaces non traitées, on laisse des surépaisseurs plus fortes que l'épaisseur de cémentation. 1° Ébauche des surfaces non traitées, ébauche et demi-finition des surfaces traitées. 2° Cémentation. 3° Demi-finition des surfaces non traitées précises et finition des surfaces traitées peu précises (IT > 9). 4° Trempe et revenu. 5° Finition, à l'outil de coupe, des surfaces non traitées précises et exécution des filetages. 6° Rectification des surfaces traitées et des surfaces très précises.	Avant cémentation  Après cémentation et avant trempe  Après trempe et finitions  Partie cimentée et trempée 
Pièces cimentées avec réserves par dépôts Les surfaces non traitées sont couvertes par dépôt protecteur. 1° Ébauche des surfaces non traitées, demi-finition des surfaces précises et finition des surfaces peu précises (IT > 9). 2° Protection des surfaces non traitées par cuivrage dans le cas d'une cémentation solide ou par chromage dans le cas d'une cémentation liquide. 3° Cémentation. 4° Trempe et revenu. 5° Finition, à l'outil de coupe, des surfaces non traitées précises et exécution des filetages. 6° Rectification des surfaces traitées et des surfaces très précises.	Avant protection  Protection  Après trempe et finitions  Partie cimentée et trempée 

EXEMPLES	APPLICATIONS
Pièces trempées par induction La pièce est chauffée puis refroidie dans un temps très court. Les déformations sont très faibles. 1° Ébauche et finition des surfaces de qualité $\geq IT6$, ébauche et demi-finition des surfaces plus précises. 4° Trempe et revenu. 3° Finition par rectification ou rodage des surfaces de qualité $< IT6$.	1/2 finition et Finition Trempe Finition 
Carbonituration Gamme analogue à celle de la cémentation. Profondeur de la couche carburée : 0,7 max. Réserves de protection par dépôt de cuivre. Surépaisseur avant rectification : 0,1 env. Finition possible, avant carbonituration des surfaces de qualité $> IT9$.	Avant carbonituration  Après carbonituration trempe et finitions 
Cyanuration Gamme analogue à celle de la cémentation. Réserves de protection par dépôt de chrome.	
Sulfinitization Traitement pour pièces travaillant au frottement. Il ne provoque pratiquement qu'un léger gonflement des pièces. - Si la surface reste brute de traitement, on prévoit dans le calcul des cotes de fabrication un gonflement de 0,01 environ. - S'il est nécessaire d'effectuer une rectification après traitement, on prévoit une surépaisseur de 0,03. - L'épaisseur de la couche sulfinitisée est de 0,3 env.	Avant sulfinitization  Après sulfinitization 
Nituration Ce traitement permet de durcir les surfaces d'une pièce sans procéder à une trempe. Les déformations sont très faibles. Réserves de protection éventuelle par dépôt d'étain. 1° Ébauche et finition des surfaces de qualité $\geq IT7$, ébauche et demi-finition des surfaces plus précises. 2° Nituration. 3° Finition par rectification ou rodage des surfaces de qualité $< IT7$.	Avant nituration  Après nituration et finitions 

16 Contraintes d'usinage

Lors de l'établissement de l'analyse de fabrication d'une pièce, un certain nombre de contraintes imposent un ordre chronologique pour les opérations d'usinage. On distingue :

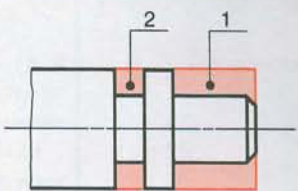
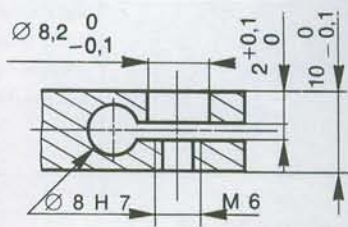
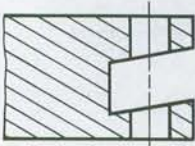
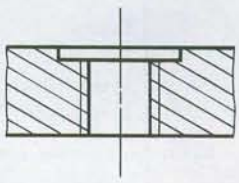
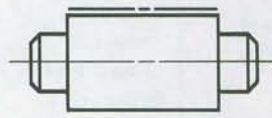
■ **Les contraintes géométriques et dimensionnelles** données par le respect des formes et des positions prescrites par le dessin de définition,

■ **les contraintes technologiques** imposées par les moyens de fabrication,

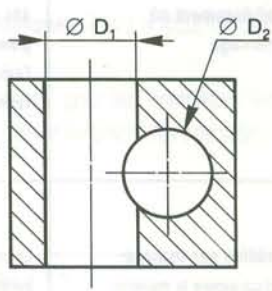
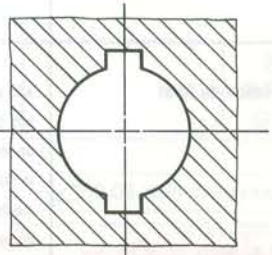
■ **les contraintes économiques** liées à la réduction des coûts de la fabrication.

Les tableaux suivants donnent, pour les contraintes les plus fréquemment rencontrées, l'ordre successif des opérations d'usinage.

CONTRAINTES GÉOMÉTRIQUES ET DIMENSIONNELLES		
Contrainte	Ordre des opérations	Dessin de définition
Parallélisme Les surfaces A et B doivent être parallèles à 0,05 près.	La surface B étant la plus précise, c'est elle qui donnera l'appui plan de meilleure qualité. On en déduit : 1° Usiner la surface B. 2° Usiner la surface A.	
Coaxialité Les centres des circonférences A et B matérialisent l'axe de référence.	Les surfaces A et B étant une même référence doivent être usinées sans démontage de la pièce. Il en résulte un montage entre pointes de la pièce, d'où : 1° Centrage. 2° Usiner les surfaces A et B.	
Planéité La surface A doit être comprise entre deux plans distants de 0,04.	Après l'usinage de la rainure la pièce aura tendance à s'ouvrir. Il faut prévoir : 1° Une ébauche générale. 2° Une finition des surfaces précises. NOTA : L'usinage de la rainure modifiant les tensions internes, il est conseillé d'effectuer un traitement de stabilisation après l'ébauche.	
Perpendicularité La surface tolérancée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,05 et perpendiculaires à la surface de référence A.	Afin de laisser à la fabrication une tolérance de perpendicularité aussi grande que possible, on effectue : 1° L'usinage de la surface A. 2° L'usinage de la surface verticale.	

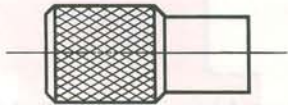
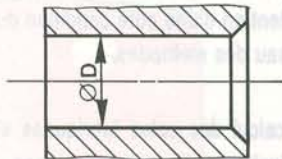
CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES		
Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
Affaiblissement dû à l'usinage	Afin d'éviter un affaiblissement prématuré de la pièce, on termine l'extrémité 1 avant de commencer l'usinage de la gorge 2.	
Flexibilité par usinage La pièce assure le maintien d'un arbre par pincement.	La fente de largeur 2 rend la pièce particulièrement flexible; l'usinage de cette fente est effectué à la dernière opération.	
Déviations du foret	Afin d'éviter une déviation du foret lors de l'attaque du perçage inférieur, on termine le perçage avant d'effectuer le rainurage, ou on utilise un montage spécial guidant le foret lors du perçage inférieur.	 Matière : 2017 (A - U4G)
Détérioration des surfaces fragiles	Lors des manipulations successives, la partie filetée peut recevoir des chocs. Il est conseillé de terminer par l'opération de filetage. En cas d'impossibilité, protéger la partie filetée par une bague en matière plastique par exemple.	 Bague de protection
Utilisation d'un type d'outillage	On prévoit d'utiliser une fraise à lamer avec pilote. Dans ce cas, il est nécessaire : — de percer avant de lamer, — de lamer avant de tarauder pour ne pas détériorer la partie filetée.	
Protection des surfaces	Les traitements de protection des surfaces sont généralement effectués après la finition complète des usinages.	 Chromé e ≥ 0,007

CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES (suite)

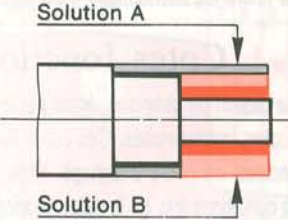
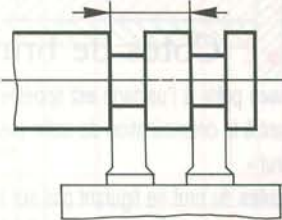
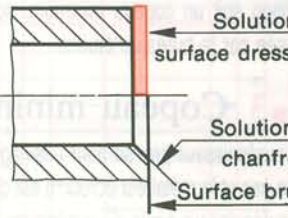
Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
Alésages sécants	■ D1 ≈ D2 On réalise d'abord l'alésage le plus précis ou le plus long, l'autre alésage est terminé : — soit à l'alésoir, avec un guidage de l'alésoir de chaque côté de la pièce ; — soit à l'outil à aléser si l'alésage est de grand diamètre (outil à une seule arête de coupe). ■ D1 nettement plus grand que D2 On commence par l'alésage qui a le plus petit diamètre.	
Rainures sectionnant un alésage	Afin d'éviter l'interruption de l'usinage de l'alésage par les rainures, on termine l'alésage avant la réalisation des rainures.	

Précision des alésages

Ø D	Tolérance IT ≤ 6		Tolérance 7 ≤ IT ≤ 8	
	Fabrication unitaire	Fabrication en série	Fabrication unitaire	Fabrication en série
de 6 à 10	Centrage Perçage Ø D-0,7 Alésage Ø D-0,2 Rectification Ø D	Perçage guidé Ø D-0,7 Alésage guidé Ø D-0,2 Rectification Ø D	Centrage Perçage Ø D-0,5 Alésage Ø D	Perçage guidé Ø D-1 Alésage guidé Ø D-0,3 Alésage Ø D
de 10 à 20	Centrage Perçage Ø D-1 Alésage Ø D-0,3 Rectification Ø D	Perçage guidé Ø D-1 Alésage guidé Ø D-0,3 Rectification Ø D	Centrage Perçage Ø D-1 Alésage Ø D-0,3 Alésage Ø D	Perçage guidé Ø D-1 Alésage guidé Ø D-0,3 Alésage Ø D
de 20 à 100	Centrage Perçage Ø D/4 Perçage Ø D-1 Alésage Ø D-0,4 Rectification Ø D	Perçage guidé Ø D/4 Perçage guidé Ø D-1 Alésage guidé Ø D-0,4 Rectification Ø D	Centrage Perçage Ø D/4 Perçage Ø D-1 Alésage Ø D-0,4 Alésage Ø D	Perçage guidé Ø D/4 Perçage guidé Ø D-1 Alésage guidé Ø D-0,4 Alésage Ø D
Si le trou vient de fonderie, le perçage au diamètre D/4 et, éventuellement, le centrage sont supprimés.				

Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
Supprimer les bavures dues au moletage	Effectuer les chanfreins après le moletage.	
Pas de bavure dans l'alésage de diamètre D	Afin de supprimer la bavure due au fraisurage, on procède de la manière suivante : 1° Ébauche et demi-finition éventuelle de l'alésage. 2° Fraisurage. 3° Finition de l'alésage.	
Finitions précises Rectification, rodage, etc.	Une finition précise ne doit pas être entreprise tant que la pièce risque de subir des déformations par la suite des opérations de fabrication. Ce qui nécessite d'effectuer au préalable : — tous les usinages susceptibles de provoquer des déformations, — tous les traitements thermiques. REMARQUE : Si la pièce a subi des déformations, il est souvent nécessaire d'effectuer avant la finition un traitement de stabilisation.	

CONTRAINTES ÉCONOMIQUES

Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
Réduire la durée de l'usinage a) Organiser les passes d'usinage.	La solution B présente un temps d'usinage plus faible que la solution A.	
b) Associer les outils.	L'association de deux outils, outre le respect en « cote directe » de la cote du dessin de définition, permet de gagner un temps appréciable par rapport à l'utilisation d'un seul outil.	
Réduire l'usure des outils	L'outil de finition attaque sur une surface brute. pour le protéger, on peut : — soit dresser l'extrémité de la pièce, — soit effectuer un chanfrein. REMARQUE : Même s'il ne s'agit pas d'une finition, l'attaque sur une surface brute et calaminée réduit la durée de vie d'un outil. Il est conseillé d'effectuer au préalable un grenaillage.	

17 Cotes fabriquées

Une cote fabriquée (Cf) appartient à une pièce fabriquée et intervient à différents stades de la fabrication, directement (cote directe) ou indirectement (cote transférée), dans l'obtention d'une cote condition du bureau d'études ou du bureau des méthodes.

Le calcul des cotes fabriquées est encore appelé, dans l'industrie, « simulation d'usinage ».

À partir du dessin de définition, sur lequel figurent les cotes fonctionnelles, le bureau des méthodes établit le projet d'étude de fabrication comportant la suite logique des phases et des opérations.

REMARQUE :

Le projet d'étude de fabrication est le document de base permettant d'effectuer le calcul des cotes fabriquées. Deux conditions « méthodes » sont à respecter :

- le copeau minimum,
- la tolérance économique d'usinage.

17.1 Cotes fonctionnelles

Sur le dessin de définition, établi par le bureau d'études, figurent des cotes fonctionnelles. Ces cotes doivent être impérativement respectées en cours d'usinage. Elles sont donc prises comme cotes conditions lors de la détermination des cotes de brut et des cotes de fabrication lors de la simulation d'usinage.

17.2 Cotes de brut

La pièce prête à l'usinage est appelée « pièce brute » ; les cotes servant à la détermination de cette pièce brute sont dites « cotes du brut ».

Les cotes du brut ne figurant pas sur le dessin de définition sont déterminées par la simulation d'usinage en prenant comme condition soit un copeau minimum, soit une cote fonctionnelle imposée par le bureau d'études.

17.3 Copeau minimum

Si la surépaisseur prévue pour l'usinage est trop faible, l'outil ne coupe pas et le métal est écroui. Il est donc nécessaire de prévoir une surépaisseur égale ou supérieure au copeau minimum.

Le copeau minimum est fonction de la nature du matériau constituant l'outil, de la finesse de l'arête tranchante, de l'arrosage, etc. Le copeau minimum intervient comme cote condition dans le calcul des cotes.

VALEURS USUELLES DES COPEAUX MINIMA

Modes d'usinage	Opérations	Copeaux minima
Tournage	Écroulage	1,5 à 3
	Ébauche sans écroulage	1
Fraisage	Ébauche après écroulage	0,5
Rabotage	Demi-finition	0,5
	Finition	0,2
Rectification	Finition	0,05
Rodage	Finition	0,03
Brochage	Finition	0,05

17.4 Tolérances économiques

Les cotes de fabrication sont assorties d'une tolérance. Pour chaque procédé de fabrication, suivant l'opération effectuée (ébauche, demi-finition, finition), il existe une tolérance économique qui permet la réalisation de la cote de fabrication dans un intervalle satisfaisant, compte tenu de la précision de la machine et du prix de revient.

VALEURS USUELLES DES TOLÉRANCES ÉCONOMIQUES

Modes d'usinage	Ebauche	1/2 finition	Finition
Sciage	2	—	—
Tournage-fraisage	0,5	0,25	0,05
Rabotage	0,5	0,25	0,1
Perçage	0,3	0,1	0,1
Alésage (O. d'enveloppe)	0,3	0,15	0,03
Alésage (O. de forme)	0,2	0,1	0,03
Rectification	0,2	0,05	0,01
Brochage	0,1	0,03	0,01
Rodage	—	—	0,005

17.5 Établissement d'une simulation d'usinage

17.51 Généralités

Il est nécessaire de simuler l'usinage suivant chaque axe, ainsi la simulation comporte au maximum trois parties ; c'est le cas des pièces usinées suivant les trois axes X, Y, Z (pièces de fraisage).

La simulation comporte deux parties pour les pièces usinées suivant deux axes X, Z (pièces de tournage).

Pour les pièces de tournage, les écarts de reprise (défauts de coaxialité), dus aux systèmes de prise de pièce, interviennent dans l'établissement des chaînes de cotes (voir la valeur des dispersions, chapitre 7).

17.52 Méthode

On peut utiliser la méthode suivante :

1° Effectuer le croquis en coupe de la pièce. Pour établir ultérieurement, avec clarté, les chaînes de cotes, les surfaces cotées ne doivent pas être situées dans un même plan, si cela se présente, il faut les décaler arbitrairement d'une ligne, afin que les lignes de rappel ne soient pas confondues.

2° Dessiner les surépaisseurs d'usinage en commençant par la dernière phase. Tracer les lignes de rappel.

3° Porter les cotes fonctionnelles du dessin de définition au-dessus du croquis de la pièce.

4° Tracer les copeaux minima sur le croquis et repérer les lignes de rappel.

5° Tracer les cotes de brut.

Les cotes de brut sont représentées sous forme de vecteurs ayant pour origine la surface brute choisie comme surface de départ.

6° Tracer les cotes d'usinage dans l'ordre de la gamme.

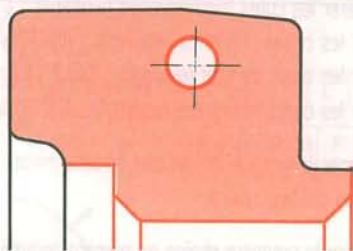
Les cotes d'usinage sont représentées sous forme de vecteurs ayant pour origine la face d'appui et pour extrémité la face usinée.

Chaque cote représente une opération.

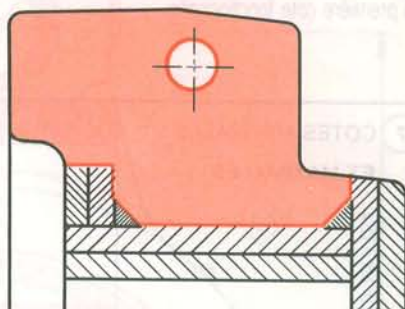
7° Traduire les cotes fonctionnelles en cotes minimales et maximales et porter ces valeurs dans les colonnes correspondantes.

8° Choisir la valeur des copeaux minima à partir du tableau de la page précédente. Inscrire ces valeurs dans la colonne min.

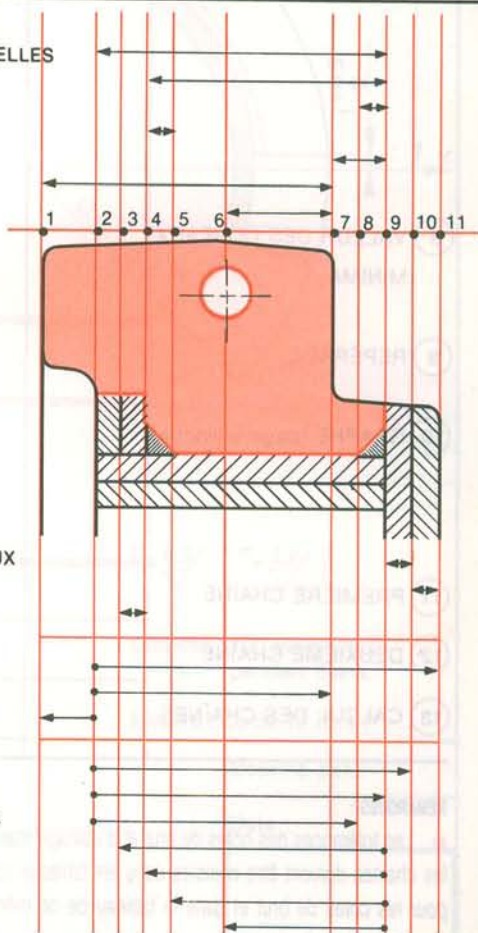
1 CROQUIS DE LA PIÈCE



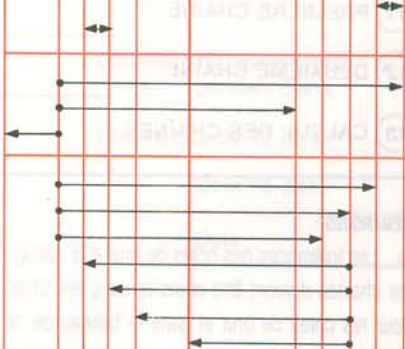
2 SURÉ-PAISSEUR D'USINAGE



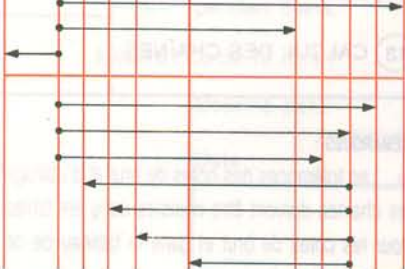
3 COTES FONCTIONNELLES



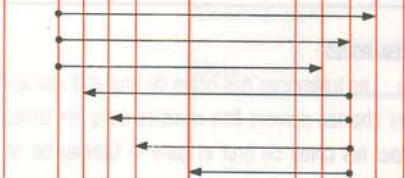
4 COPEAUX MINIMA



5 COTES DE BRUT



6 COTES FABRIQUÉES (Cf)



9° Repérer les cotes fonctionnelles (exemple : 1 à 7).
Repérer les copeaux minima (exemple : 8 à 10).
Repérer les cotes de brut (exemple : CfB2-11 à CfB2-1).
Repérer les cotes fabriquées (exemple : Cf2-10 à Cf9-6).

10° Tracer le graphe permettant la détermination des composantes de chaque chaîne.

11° Tracer la première chaîne en prenant comme cote condition la première cote fonctionnelle.

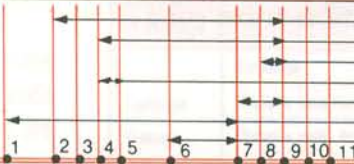
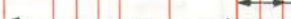
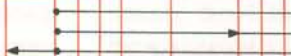
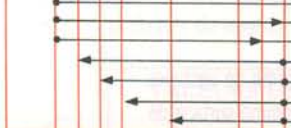
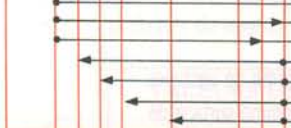
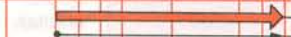
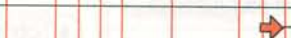
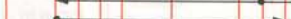
12° Tracer les autres chaînes dans l'ordre des cotes fonctionnelles et des copeaux minima.

Il y a autant de chaînes que de cotes fonctionnelles et de copeaux minima.

13° Calculer les chaînes dans l'ordre des conditions.

S'il y a deux cotes inconnues dans une même chaîne, il faut passer à la suivante.

Porter les valeurs minimales et maximales de chaque cote calculée en indiquant le numéro de chaîne ayant permis de la déterminer.

	Cond.	Schéma	Cmin →		Tol	N° ch
			min	max		
7 COTES MINIMALES ET MAXIMALES			18,7	19,3	0,6	
			15,7	15,9	0,2	
			1	2	1	
			1	2	1	
			33,5	34,5	1	
			15	17	2	
						
						
						
						
8 VALEUR DES COPEAUX MINIMA			0,2			
			0,7			
			0,2			
9 REPÉRAGE						
						
						
10 GRAPHE (page suivante)						
			18,7	19,3	0,6	1
			17,3	17,7	0,4	3
			15,7	15,9	0,2	2
			15,7			
			15,7			
			15,7			
11 PREMIÈRE CHAÎNE			1	18,7	0,6	
			Cf2-9	18,7	0,6	1
12 DEUXIÈME CHAÎNE			2	15,7	0,2	
			Cf9-4	15,7	0,2	2
13 CALCUL DES CHAÎNES			3	1	1	
			Cf2-8	17,7	0,4	3
			Cf2-9	18,7	0,6	
			18,7	18,7		

REMARQUES :

■ Les tolérances des cotes de brut et d'usinage manquant dans les chaînes doivent être choisies dans les tableaux (chapitre 11) pour les cotes de brut et dans le tableau de ce même chapitre pour les cotes d'usinage.

■ Dans le cas où la cote usinée est la même que la cote fonctionnelle, la cote est dite « directe » car elle ne nécessite pas de chaîne (c'est le cas de la cote-machine b qui est égale à la cote fonctionnelle repère 1).

17.6 Exemple

Soit la simulation suivant l'axe $\vec{o}\vec{z}$ de l'usinage de la fourchette d'embrayage.

Le dessin de définition et la gamme sont donnés afin de faciliter la compréhension de cet exemple.

Gamme de la fourchette d'embrayage

10 TOURNAGE

Référentiel de mise en position :

- appui plan sur Bz_1 (3 normales 1, 2, 3),
- centrage court sur By_1 (2 normales 4, 5),
- orientation sur By_2 (1 normale 6).

Dresser (F1) Cf2-9 (Ébauche et finition).

Aléser (2) Cf3 (Ébauche et finition).

Chanfreiner (3) Cf2-8.

20 TOURNAGE

Référentiel de mise en position :

- appui plan sur F_1 (3 normales 1, 2, 3),
- centrage court dans (2) (2 normales 4, 5),
- orientation sur By_3 (1 normale 6).

Aléser (4) Cf6 et dresser (5) Cf9-4 (2 passes).

Chanfreiner (6) Cf9-5.

30 PERÇAGE

40 ALÉSAGE

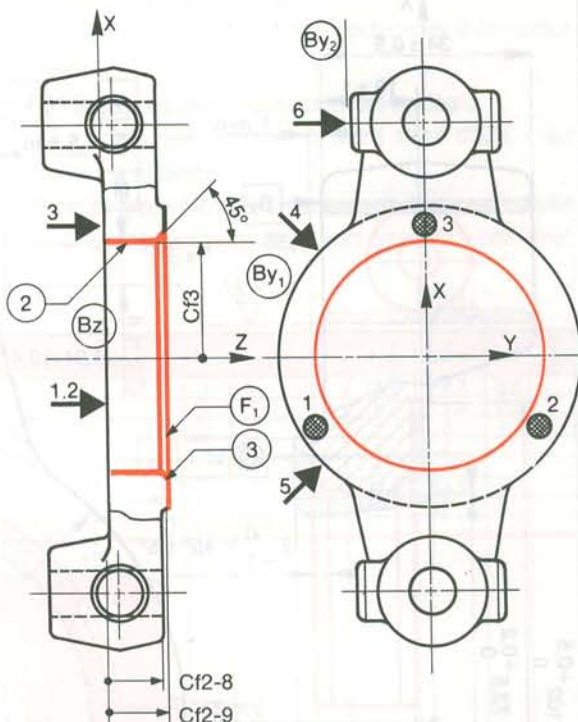
50 FRAISAGE

60 PERÇAGE

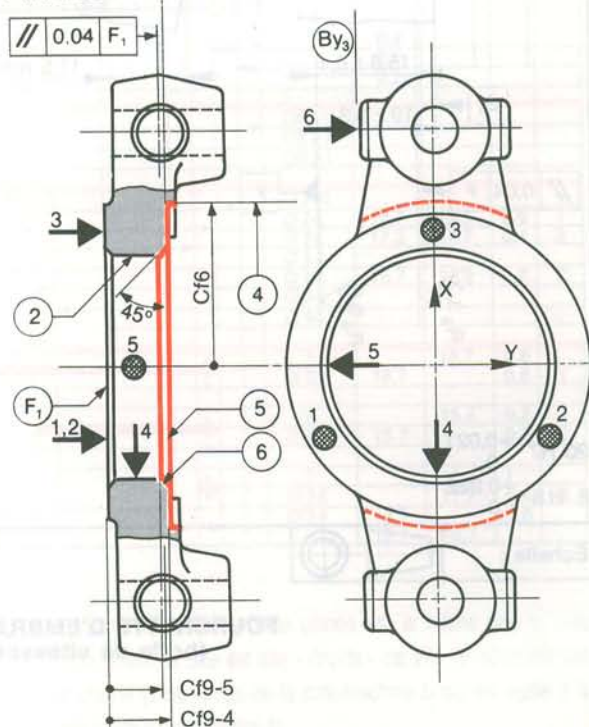
70 SCIAGE

80 CONTRÔLE

Phase 10



Phase 20



REMARQUES :

■ Seules les deux premières phases de la gamme sont détaillées. La simulation suivant l'axe $\vec{o}\vec{z}$ de la fourchette ne concerne que les phases 10, 20 et 60.

■ Les cotes fabriquées Cf2-8, Cf2-9, Cf9-5, Cf9-4 sont calculées dans l'exemple de simulation d'usinage.

17.61 Graphe des cotes Cf

Le graphe permet la détermination rapide des composantes de chaque chaîne.

17.611 Tracé du graphe

1° Repérer les lignes de rappel utilisées pour la cotation fonctionnelle, les copeaux minima, les cotes de brut, dans l'ordre croissant en partant de la gauche vers la droite (par exemple : 1 à 11).

2° Tracer le graphe des cotes de brut en commençant par la première cote CfB2-11.

La cote CfB2-11 est comprise entre les lignes 2 et 11. Tracer un vecteur ayant pour origine (2) et pour extrémité (11) :

(2) → (11).

La cote CfB2-7 est comprise entre les lignes 2 et 7. Tracer un vecteur ayant pour origine (2) et pour extrémité (7) :

(2) → (7).

La cote CfB2-1 est comprise entre les lignes 2 et 1. Tracer un vecteur ayant pour origine (1) et pour extrémité (2) : (1) → (2) car CfB2-1 est orienté dans le sens inverse de CfB2-11 et CfB2-7 (voir le tracé des cotes de brut).

3° Tracer le graphe des cotes d'usinage, en commençant par la première cote usinée Cf2-10.

■ Cf2-10 est comprise entre les lignes 2 et 10, soit :

(2) → (10).

■ Cf2-9 est comprise entre les lignes 2 et 9, soit :

(2) → (9).

■ Cf9-6 est comprise entre les lignes 9 et 6, soit :

(9) → (6).

17.612 Exploitation du graphe

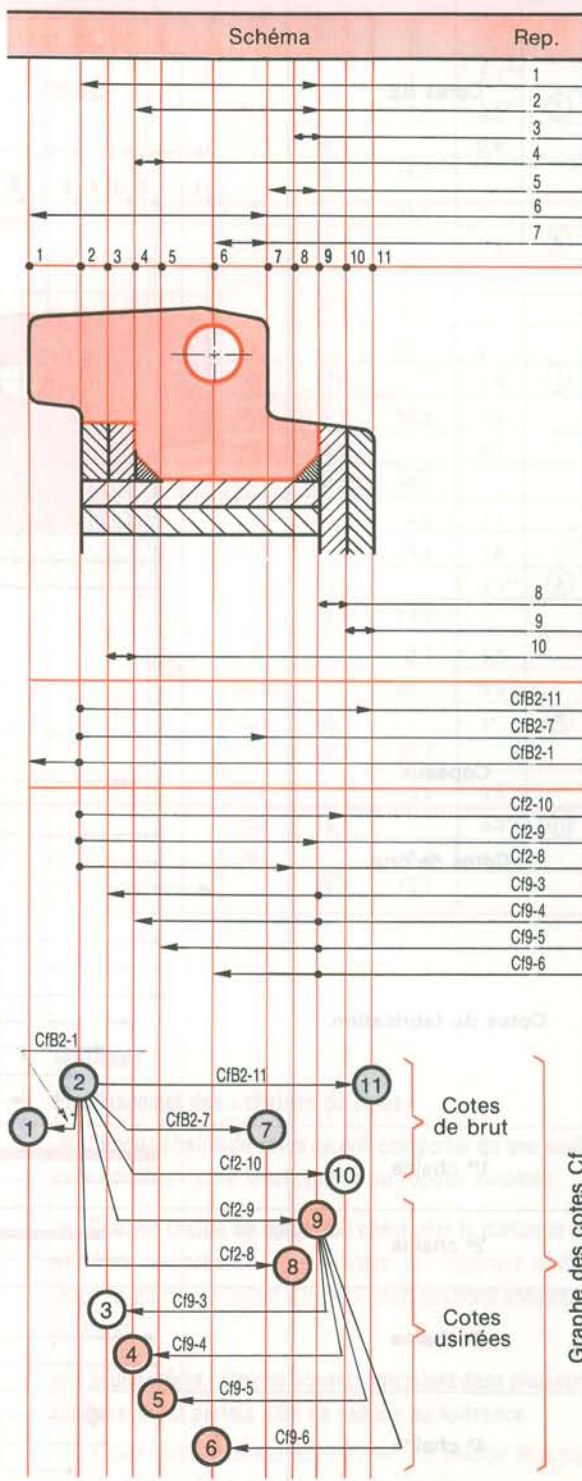
Soit la chaîne numéro 1 : (voir page suivante)

La cote condition 1 est comprise entre les lignes 2 et 9. Elle est directe car le graphe n'indique qu'une seule cote Cf2-9 entre (2) et (9).

Soit la chaîne numéro 3 :

La cote condition 3 est comprise entre les lignes de rappel 8 et 9. L'examen du graphe montre qu'il faut passer par (2) et utiliser les composantes Cf2-8 et Cf2-9.

DONNÉES NÉCESSAIRES AU TRACÉ DU GRAPHE



C min

Conditions	Schéma	Rep.	m	M	Tol.	N° chaîne
Cotes BE		1	18,7	19,3	0,6	
		2	15,7	15,9	0,2	
		3	1	2	1	
		4	1	2	1	
		5	1			
		6	33,5	34,5	1	
		7	15	17	2	
Copeaux		8	0,2			
		9	0,7			
		10	0,2			
Cotes de brut		CfB2-11	20,7	21,7	1	⑨
		CfB2-7	17,2	17,7	0,5	⑤
		CfB2-1	16,3	16,8	0,5	⑥
Cotes de fabrication		Cf2-10	19,5	20	0,5	⑧
		Cf2-9	18,7	19,3	0,6	①
		Cf2-8	17,3	17,7	0,4	③
		Cf9-3	16,1	16,4	0,3	⑩
		Cf9-4	15,7	15,9	0,2	②
		Cf9-5	13,9	14,7	0,8	④
		Cf9-6	17,1	18	0,9	⑦
1 ^{re} chaîne		1		18,7	0,6	
Cf2-9		18,7		0,6	①	
2 ^e chaîne		2		15,7	0,2	
Cf9-4		15,7		0,2	②	
3 ^e chaîne		3		1	1	
		Cf2-8		17,7	0,4	③
		Cf2-9	18,7		0,6	
4 ^e chaîne			18,7	18,7		
		4		1	1	
		Cf2-9	15,7		0,2	
		Cf9-5		14,7	0,8	④
			15,7	15,7		

Conditions	Schéma	Rep.	C min		Tol.	N° chaîne
			m	M		
5° chaîne		5		1	1,1***	⑤
		CfB2-7		17,7	0,5*	
		Cf2-9	18,7		0,6	
			18,7	18,7		
6° chaîne		6		33,5	1	⑥
		CfB2-1	16,3		0,5	
		CfB2-7	17,2		0,5	
			33,5	33,5		
7° chaîne		7		15	2	⑦
		Cf9-6	17,1		0,9	
		Cf2-9		19,3	0,6	
		CfB2-7	17,2		0,5	
8° chaîne		8		0,2	1,1	⑧
		Cf2-9		19,3	0,6	
		Cf2-10	19,5		0,5**	
			19,5	19,5		
9° chaîne		9		0,7	1,5	⑨
		Cf2-10		20	0,5	
		Cf2-11	20,7		1*	
			20,7	20,7		
10° chaîne		10		0,2	0,5	⑩
		Cf2-9	16,1		0,3**	
		Cf9-4		15,9	0,2	
			16,1	16,1		

* La cinquième chaîne comporte deux cotes (Cf2-9 et CfB2-7) dont les tolérances sont inconnues. Il faut choisir la tolérance sur la cote de brut CfB2-7, cette tolérance doit être compatible avec le moyen d'obtention du brut (moulage) soit 0,5 (voir chapitre 11).

** La huitième chaîne comporte deux cotes (Cf2-9 et Cf2-10) dont les tolérances sont inconnues. Il faut choisir la tolérance sur la cote usinée Cf2-10; c'est une tolérance économique d'une cote obtenue en tournage ébauche : le tableau paragraphe 17.4 donne la valeur 0,5.

*** Ce pointillé $\cdot$ indique que la valeur numérique de la donnée (cote min, cote max ou tolérance) est inconnue.

REMARQUES :

Établissement des « chaînes de cotes »

■ Chaque chaîne de cotes ne doit comporter qu'une seule cote condition (cote fonctionnelle ou copeau minimal).

■ Chaque chaîne de cotes doit comporter le minimum de vecteurs composants (cette condition est facilement vérifiée grâce au graphe permettant la détermination des cotes composant la chaîne).

■ Si une même cote composante intervient dans plusieurs chaînes, il est parfois utile de réduire sa tolérance.

On résout la chaîne dont la cote condition est affectée de la plus faible tolérance. On évite ainsi tout calcul inutile.

18 Contrat de phase prévisionnel*

Le contrat de phase prévisionnel est un document établi par le bureau des méthodes. Il sert à vérifier le processus opérationnel de la phase considérée. Ce document est évolutif.

Lorsque le poste d'usinage est stabilisé, on établit le contrat de phase tenant compte des résultats des essais (les symboles de prises de pièces à utiliser sont ceux du chapitre 4). Voir paragraphe 1.3.

18.1 Contenu d'un contrat de phase prévisionnel

1° Informations relatives à la phase :

- Mode d'usinage (tournage, fraisage, etc.).
- Numéro de phase.
- Type de machine utilisée.
- Nature du porte-pièce.

2° Informations relatives à la pièce :

- Nom de l'ensemble auquel appartient la pièce.
- Nom de la pièce.
- Nombre de pièces fabriquées et cadence.
- Matière.
- État du brut (coulé, laminé, étiré, etc.).
- Dessin de la pièce dans l'état où elle se trouve à la fin de la phase.

Ce dessin comporte les renseignements suivants :

- Surfaces à usiner représentées en trait fort.
- Normales de repérage (chapitre 3).
- Référentiel de cotation : O, X, Z pour les pièces de tournage et O, X, Y, Z pour les pièces usinées dans les trois dimensions.
- Cotes fabriquées (Cf).
- Tolérances géométriques et états de surface.

REMARQUE :

Le dessin de phase comporte également des informations relatives à l'outil :

- dessin de l'outil,
- cycle d'usinage.

3° Informations relatives aux opérations à effectuer :

- Nature de l'opération.
- Cotes fabriquées.

* D'après les recommandations de l'Inspection générale.

- Les tolérances géométriques et les états de surface.

4° Éléments de coupe :

V : vitesse de coupe en m/mn.

n : fréquence de rotation en tr/mn.

f : avance par tour en mm/tr (tournage).

avance par dent en mm (fraisage).

A : avance en mm/mn.

p : profondeur de passe en mm.

5° Outillage de coupe :

- Outil (type, nature, rayon de bec, nombre de dents).
- Porte-outil.

6° Outillage de contrôle :

- Noms et caractéristiques des instruments utilisés.

18.2 Exemples de contrats de phase prévisionnels

EXEMPLES :

1° Contrat de phase de tournage

Ce contrat donne toutes les informations relatives à la demi-finition du cône 7/24 n° 40 d'un porte-fraise.

- Les cotes-appareillage données par le gabarit ne sont pas toutes indiquées.

- Seules trois cotes interviennent dans le réglage :

- la cote fabriquée suivant OZ : Cf1,
- la cote fabriquée suivant OX : cette dernière est transférée et devient une cote de position du plan de jauge (Cf2),
- la conicité 7/24 qui est une cote-appareillage donnée par le gabarit (à condition que ce dernier soit bien orienté, d'où la nécessité de connaître cette valeur).

2° Contrat de phase de fraisage

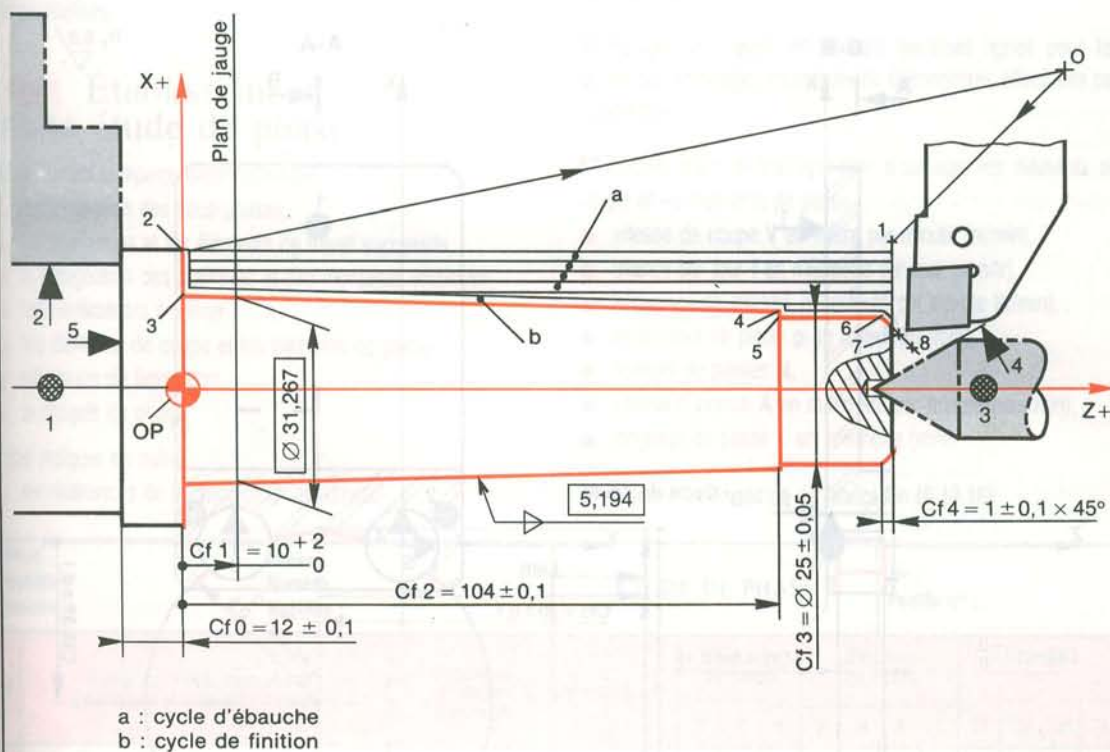
Ce contrat donne toutes les informations utiles à la réalisation d'une entaille circulaire obtenue à l'aide d'une fraise trois tailles ($Cf 10^{+0,1}_0$ et $Cf 40^{0}_{-0,5}$).

La mise en position de la pièce sur le montage dans le plan X, Y est réalisée à l'aide d'un centreur (4,5) et d'un locating (6).

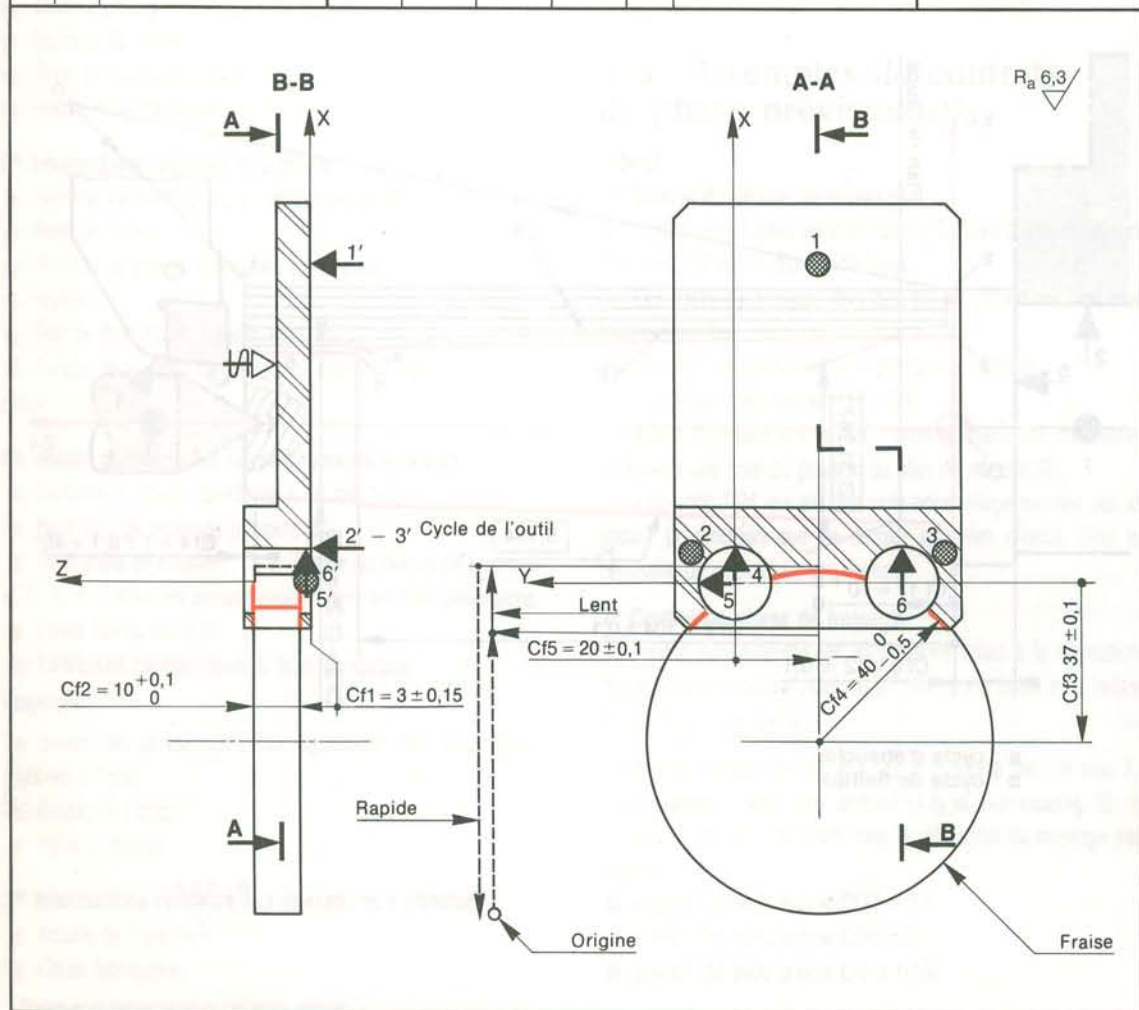
La mise en position de l'outil dans le référentiel du montage est réalisée :

- suivant OX avec la cote Cf37 $\pm 0,1$;
- suivant OY avec la cote Cf20 $\pm 0,1$;
- suivant OZ avec la cote Cf3 $\pm 0,15$.

PHASE TOURNAGE CN 40			Machine : TOUR C.N. HES 300*					Établissement :	
Ens. : Barre d'alésage			Porte-pièce : Mandrin 3 mors doux + pointe tournante					Page N°	
Désignation : Axe								Date :	
Matière : 16NC6 - Laminé								Dessiné :	
Nombre : 25/mois									
Opérations d'usinage			Éléments de coupe					Outillages	
N°	Rep.	Désignation	V	n	f	A	P	Fabrication	Contrôle
1		Ébauche a	m/mm	tr/min	mm/tr	mm/mn	mm	PCLN { Sandwich PCLN { Coromant	Montage de contrôle
2		1/2 finition b	100	—	0,3	—	2		
		Cf0 = 12 ± 0,1	120	—	0,15	—	0,5		
		Cf1 = 10 + $\frac{2}{0}$							
		Cf2 = 10,4 ± 0,1							
		Cf3 = Ø25 ± 0,05							
		Cf4 = 1 ± 0,1							



PHASE : FRAISAGE N° 40			Machine : Fraiseuse à cycle Ernault Z1					Établissement	
Ensemble : Soufflet de photomacrographie									
Désignation pièce:Montant AR			Porte-pièce: Montage F40					Page N°	
Matière A. U 4G.								Date :	
Nb. de pièces : 50								Dessiné :	
Opération d'usinage			Éléments de coupe					Outillage	
N°	Rep.	Désignation	V	n	f	A	P	Fabrication	Vérification
		Fraiser la rainure circulaire	m/mn 100	tr/mn ----	mm/dt 0,04	mm/mn ----	mm —	Fraise trois tailles ARS Ø80 épaisseur 10	Montage de contrôle
		Suivant OZ { Cf1 3±0,15 Cf2 10 ^{+0,1} ₀							
		Suivant OX { Cf3 37±0,1 Cf4 40 ⁺⁰ _{-0,5}							
		Suivant OY Cf5 = 20± 0,1							
		État de surface R _a 6,3							



19.2

TEMPS DE FABRICATION

19.21

TEMPS MANUELS Tm*

C'est la durée d'un travail physique ou mental dépendant uniquement de l'opérateur.

Fraiseuses Ernault-Somua		Type		Tours semi-automatiques Ernault-Somua		Type			
		Z1	Z3			N2B	N3	N5	
Organes	Mouvement	Tm en cmn		Organes	Mouvement	Tm en cmn			
Broche	Embrayer ou débrayer la broche	2	2	Serre-barre	Avancer la barre, mettre la pièce en butée et serrer	8	12	14	
	Changer fréquence de la broche (1 levier)	6	10		Poupée	Embrayer la marche avant	1	2	4
	Changer fréquence de la broche (2 leviers)	12	15	Débrayer		2	2	2	
	Changer fréquence de la broche (3 leviers)	16	20	Inverser le sens de marche AV et AR		1	2	7	
	Inverser le sens de rotation	3	3	Changer la fréquence de broche		1	2	8	
Table (avance)	Embrayer ou débrayer avance lente	3	2	Tourelle hexagonale	Évoluer la tourelle (1 face) sur une longueur de 100 mm	3	6	7	
	Embrayer ou débrayer avance rapide	4	4		Évoluer la tourelle (2 faces) sur une longueur de 100 mm	5	7	11	
	Changer d'avance (1 levier)	5	5		Évoluer la tourelle (6 faces) en rotation libre	6	8	12	
	Changer d'avance (2 leviers)	10	10		Approcher l'outil et embrayer l'avance	2	3	4	
Table et chariot transversal (déplacement et immobilisation)	Déplacement transversal de 30 mm	10	14		Chariot longitudinal	Bloquer ou débloquent la coulisse	3	3	3
	Déplacement transversal de 60 mm	15	20			Changer la vitesse d'avance	1	4	2
	Déplacement transversal de 90 mm	20	28	Embrayer		3	3	2	
	Bloquer ou débloquent la table (2 leviers)	6	6	Débrayer (déclenchement automatique)		2	2	2	
	Bloquer ou débloquent le chariot (1 levier)	4	4	Changer le mouvement d'avance	—	2	2		
	Amener le vernier au repère (table ou chariot transversal)	10	10	Bloquer le chariot	—	2	3		
Montant	Bloquer ou débloquent (2 leviers)	10	16	Chariot transversal	Changer butée longitudinale (1 cran)	4	4	4	
	Descendre le montant de 30 mm	14	32		Embrayer	—	3	3	
	Descendre le montant de 60 mm	21	56		Débrayer manuellement	—	2	2	
	Descendre le montant de 90 mm	30	86		Changer le mouvement d'avance	—	2	2	
	Monter le montant de 30 mm	17	35		Bloquer la coulisse	—	2	2	
	Monter le montant de 60 mm	27	60		manœuvrer la coulisse de 50 mm	4	4	4	
	Monter le montant de 90 mm	37	92		Manœuvrer la coulisse de 100 mm	6	6	6	
	Amener le vernier au repère	15	15		Manœuvrer la coulisse de 150 mm	—	8	9	
					Verrouiller le barillet de butée	—	—	5	
			Amener le vernier au repère	8	10	10			

19.22

TEMPS TECHNO-MANUEL Ttm

C'est la durée pendant laquelle le travail dépend des actions composantes et simultanées de l'opérateur et de la machine.
EXEMPLE : Voir § 19.31.

Tourelle carrée	Évoluer 1 face	—	4	4
	Évoluer 4 faces	—	8	9

19.23

TEMPS MASQUÉ Tz

C'est la durée d'un travail humain ou machine accompli pendant l'exécution d'un travail prédominant.
EXEMPLE : Voir § 19.31.

19.24

TEMPS SÉRIE Ts

C'est la durée des opérations nécessaires pour équiper le poste (mise en place du montage porte-pièce, montage et réglage des outils), ainsi que celles intervenant lors du démontage du poste.

19.25

TEMPS FRÉQUENTIEL Tf

C'est la durée d'une action, ou d'un ensemble d'actions qui modifie périodiquement le déroulement du cycle.

Tf : Temps fréquentiel (Cmin/cycle)

Tft : Temps fréquentiel total (Cmin)

n : Nombre de cycles prévus.

Tf = $\frac{Tft}{n}$

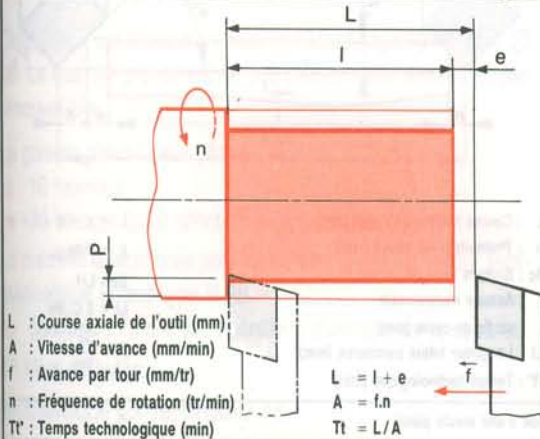
* Temps en centième de minute (cmn).

19.26

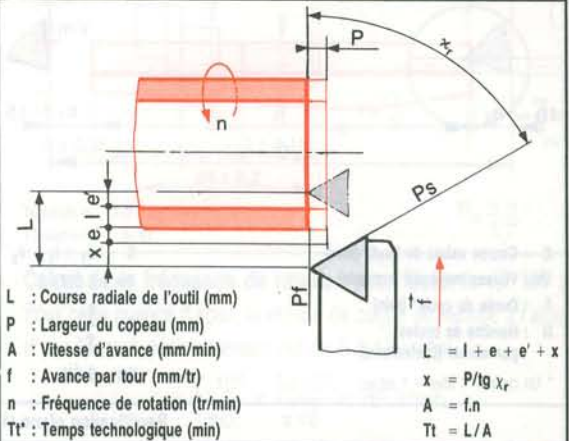
TEMPS TECHNOLOGIQUES T_t

C'est la durée pendant laquelle le travail effectué dépend uniquement des moyens matériels

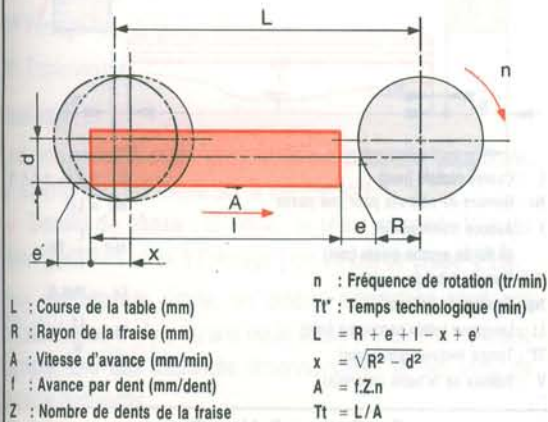
Tournage (chariotage)



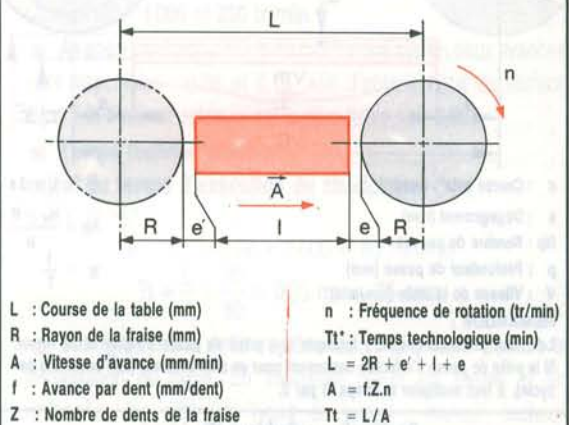
Tournage (Dressage)



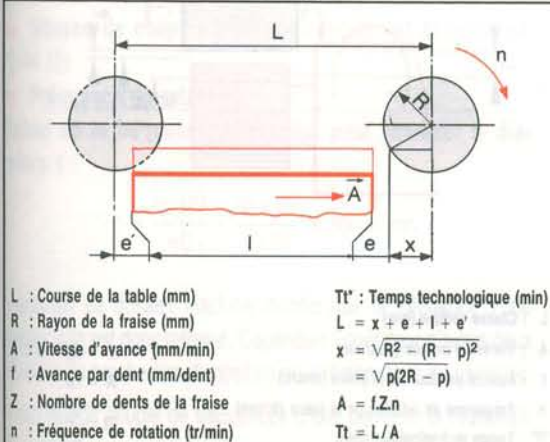
Fraisage de face (Ébauche)



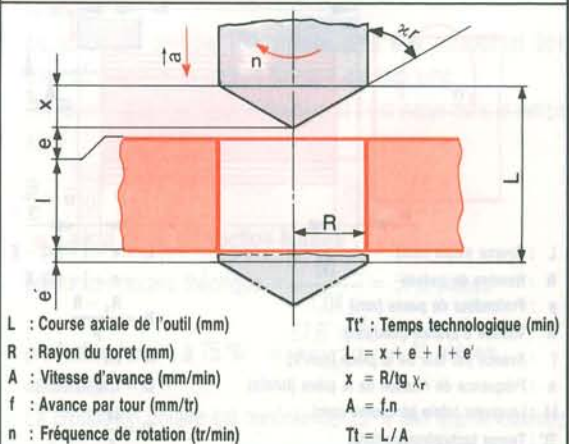
Fraisage de face (Finition)



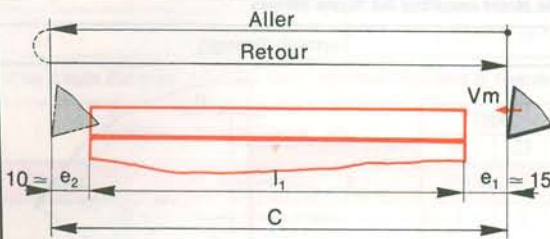
Fraisage de profil



Perçage

* Si l'on désire T_t en centièmes de minute, il faut multiplier le résultat par 100.

Rabotage (Surfacage)



C : Course axiale de l'outil (mm)
 V_m : Vitesse moyenne (mm/min)
 T : Durée du cycle* (min)
 N : Nombre de cycles par minute (cycles/min)

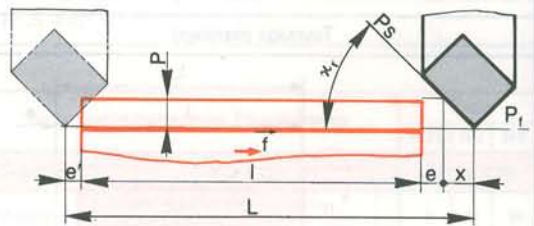
* Un cycle = 1 aller + 1 retour

$$C = e_1 + l_1 + e_2$$

$$V_m = 2 C / T$$

$$N = \frac{1}{T}$$

$$V_m = 2 C N$$



L : Course radiale de l'outil (mm)
 p : Profondeur de passe (mm)
 N_c : Nombre total de cycles
 f : Avance transversale en fin de cycle (mm)
 L_t : Longueur totale parcourue (mm)
 T_t : Temps technologique (min)

$$L = x + e + l + e'$$

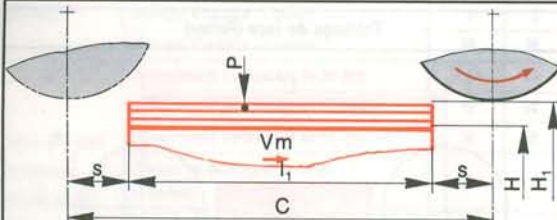
$$x = p / \tan \alpha_r$$

$$N_c = L / f$$

$$L_t = 2 C \cdot N_c$$

$$T_t = \frac{L_t}{V_m}$$

Rectification plane (À l'aide d'une meule plate)



c : Course axiale (mm)
 s : Dégagement (mm)
 N_p : Nombre de passes
 p : Profondeur de passe (mm)
 V : Vitesse de la table (mm/min)

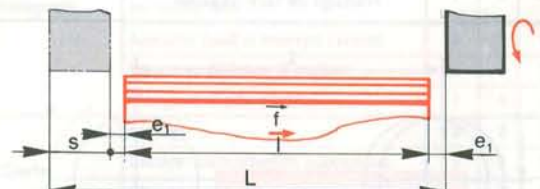
REMARQUE :

Le calcul de temps ci-contre implique une prise de passe à l'aller et au retour. Si la prise de passe s'effectue seulement pour un aller et retour (une seule fois par cycle), il faut multiplier le temps T_t par 2.

$$c = l_1 + 2s$$

$$N_p = \frac{H_1 - H}{p}$$

$$N = \frac{1}{T}$$



L : Course radiale (mm)
 N_c : Nombre de courses pour une passe
 f : Avance transversale en fin de course axiale (mm)
 N_{ct} : Nombre total de courses
 N_p : Nombre de passes
 L_t : Longueur totale parcourue (mm)
 T_t : Temps technologique (mn)
 V : Vitesse de la table (mm/min)

$$L = 2e_1 + l + s$$

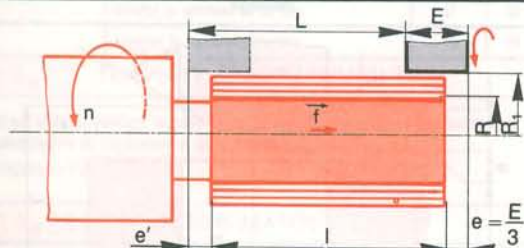
$$N_c = L / f$$

$$N_{ct} = \frac{L}{f} \cdot N_p$$

$$L_t = N_{ct} \cdot C$$

$$T_t = \frac{L_t}{V}$$

Rectification cylindrique (Chariotage)



L : Course axiale (mm)
 N : Nombre de passes
 p : Profondeur de passe (mm)
 A : Vitesse d'avance (mm/tr)
 f : Avance par tour de la pièce (mm/tr)
 n : Fréquence de rotation de la pièce (tr/min)
 L_t : Longueur totale parcourue (mm)
 T_t : Temps technologique (min)

$$L = e' + l + E/3 - E$$

$$= e' + l - 2/3 \cdot E$$

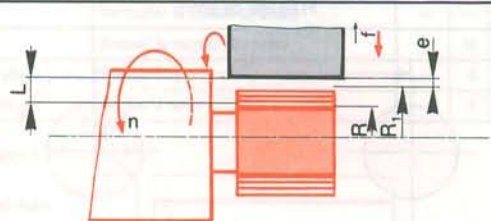
$$N = \frac{R_1 - R}{p}$$

$$A = f \cdot n$$

$$L_t = L \cdot N$$

$$T_t = \frac{L_t}{A}$$

Rectification cylindrique (Plongée)



L : Course radiale (mm)
 A : Vitesse d'avance (mm/min)
 f : Avance par tour de la pièce (mm/tr)
 n : Fréquence de rotation de la pièce (tr/min)
 T_t : Temps technologique (min)

$$L = R_1 - R + e$$

$$A = f \cdot n$$

$$T_t = \frac{L}{A}$$

* Si l'on désire T_t en centièmes de minute, il faut multiplier le résultat par 100.

19.3 Exemples d'application

19.31 Tournage d'un axe fileté

Cette pièce est réalisée en acier de décolletage 10 F2 étiré $\varnothing 16$. La quantité prévue est de 500 pièces. Cette série n'est pas renouvelable.

La gamme prévoit deux phases :

- 10 tournage,
- 20 fraisage (pour effectuer la fente de manœuvre).

La machine sélectionnée pour la première phase est un tour semi-automatique Ernault type N 2B.

■ **Usinage** : l'ordre des opérations d'usinage est le suivant :

- 1° Mise en butée.
- 2° Chariotage $\varnothing 10$, longueur 18.
- 3° Chariotage $\varnothing 6$, longueur 13.
- 4° Chanfreinage $0,8 \times 45^\circ$.
- 5° Filetage M6, longueur 10.
- 6° Tronçonnage.

REMARQUE :

Les cinq premiers outils sont montés sur la tourelle hexagonale, le sixième outil est monté sur la tourelle arrière.

■ **Dessin de phase** : le dessin de phase comporte tous les renseignements utiles à l'usinage (voir contrat de phase § 18).

Pour cet exemple simple, un croquis préparatoire n'est pas nécessaire car il n'y a qu'une seule passe prévue en chariotage compte tenu des tolérances dimensionnelles et des états de surface demandés.

■ **Temps manuels** : les temps manuels sont déterminés à l'aide du tableau (§ 19.161).

■ **Vitesse de coupe** : la vitesse V choisie est de 50 m/min (§ 44.12).

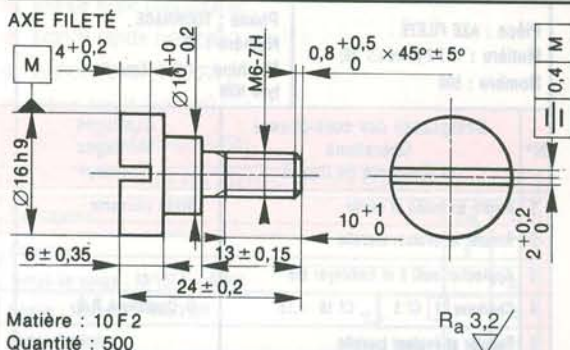
■ **Fréquence de rotation** :

Calcul de la fréquence de rotation pour charioter le diamètre 1 :

$$n = \frac{V \cdot 10^3}{\pi D} = \frac{50 \times 10^3}{\pi \times 16} = 994 \text{ tr/min.}$$

L'examen du dossier machine montre que la fréquence 1000 existe ; elle est donc retenue. Cependant l'opérateur n'a que deux vitesses de broche à sa disposition pour réaliser tous les usinages.

Il faut que le couple de fréquences choisi permette la réalisation du filetage.



Calcul de la fréquence de rotation pour fileter le $\varnothing M6$:

Pour cette nuance d'acier, la vitesse de coupe de filetage à l'aide d'une filière à déclanchement est de 5 à 12 m/min.

$$n = \frac{V \cdot 10^3}{\pi D} = \frac{5 \times 10^3}{\pi \times 6} = 265 \text{ tr/min.}$$

La fréquence de rotation la plus proche lue dans le dossier machine est de 250 tr/min. Le couple de fréquences de rotation retenue est : **1000 et 250 tr/min.**

■ **Avance** : le dossier machine montre que seules deux avances sont disponibles : 0,08 et 0,16. Afin d'obtenir l'état de surface $Ra \leq 3,2$, l'avance retenue est la plus faible soit 0,08.

■ **Temps technologique** :

calcul du temps d'exécution du chariotage 1 :

Voir § 19.162.

$$A = f \cdot n = 0,08 \times 1000 = 80 \text{ mm/min}$$

$$T_t = \frac{L}{A} = \frac{20}{80} = 0,25 \text{ mn} = \mathbf{25 \text{ cmn.}}$$

■ **Simogramme** : cette représentation graphique permet la visualisation du cycle. En abscisses porter les temps et en ordonnées les différents types de temps : manuel, techno-manuel, etc. La durée du cycle est de 104 cmin.

REMARQUE :

Le temps de contrôle 160 cmin ne peut être masqué et être considéré comme un temps T_z car il est trop long.

Il n'apparaît pas dans le simogramme et il est inclus dans le temps série :

$$\frac{500}{20} \cdot 160 = 4000 \text{ cmin} \quad \text{Soit : } 0,66 \text{ h.}$$

■ **Calcul de la production horaire** :

$$\text{production horaire théorique} = \frac{60}{1,04} = 57,6 \text{ pièces}$$

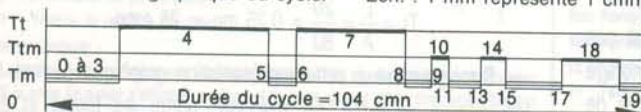
$$\text{production horaire à 75 \%} = \frac{57,6 \times 75}{100} = \mathbf{43 \text{ pièces.}}$$

REMARQUE :

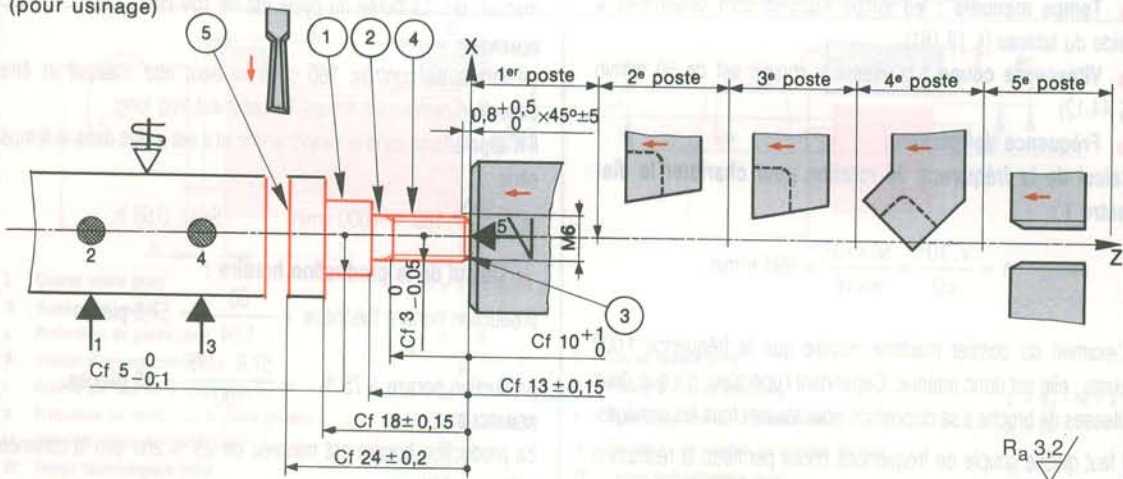
La production horaire est minorée de 25 % afin que la cadence soit acceptable.

Pièce : AXE FILETÉ Matière : 10 F2 (étré Ø 16) Nombre : 500		Phase : TOURNAGE Numéro : 10 Machine : T.S.A. Ernault type N2B		ÉTUDE DE PHASE										Date : Nom :	
														Folio : 1/1	
N°	Désignation des sous-phases Opérations et éléments de travail	Outillages Montages d'usinage	Vérificateurs	Éléments de coupe			Éléments de passe				Temps en : cmin				
				V	f	n	p	N	A	L	Tt	Ttm	Tm	Tz	
1	Mettre en butée et serrer	Butée tournante												8	
2	Reculer et évoluer tourelle													3	
3	Approcher outil 2 et Embrayer Ma													2	
4	Charioter 1 Cf 5 $\frac{0}{-0,1}$, Cf 18 ± 0,15	O. Couteau A.R.S.	{ Calibre à coulisse	31,4	0,08	1000	3		80	18+2	25				
5	Reculer et évoluer tourelle		{ Jauge de profondeur											3	
6	Approcher outil 3 et embrayer Ma													2	
7	Charioter 2 Cf 3 $\frac{0}{-0,05}$, Cf 13 ± 0,15	O. Couteau A.R.S.	{ Calibre à coulisse	31,4	0,08	1000	2		80	13+2	19				
8	Reculer et évoluer tourelle		{ Jauge de profondeur											3	
9	Approcher outil 4													2	
10	Chanfreiner 3 $0,8 \pm 0,5 \times 45^\circ \pm 5^\circ$	O. à charioter A.R.S.		31,4	MAN	1000						3			
11	Reculer et évoluer tourelle													3	
12	Changer de vitesse													1	
13	Approcher outil 5													2	
14	Fileter 4 M6, Cf 10 $\frac{+1}{0}$	{ Filière à déclanchement	{ Bagues M6	4,7	MAN	250						4			
15	Reculer et évoluer tourelle (2 faces)	{ Peignes A.R.E.S. M6	{ min-max											5	
16	Changer de vitesse													1	
17	Approcher outil 6 (transversal)													4	
18	Tronçonner 5 Cf 27 ± 0,2	O. à tronçonner	Calibre à coulisse	31,4	MAN	1000						10			
19	Reculer chariot transversal													4	
20	Contrôler : fréquence 1/20 (160-20 cmin)*														

Représentation graphique du cycle. Éch. : 1 mm représente 1 cmn.



Tt : Temps technologique	Totaux	44	17	43
Tm : Temps manuel	Ts : Temps série	2 h + 0,66		
Ttm : Temps techno-manuel	Temps pour 500 pièces	11 h 20 min		
Tz : Temps masqué				

CROQUIS DE PHASE
(pour usinage)

* Voir remarque § 19.31.

19.32 Fraisage d'un support

Phase : n° 30, fraisage du bras.

Machine : Z3C horizontale (cycle spécial).

Pièce : Support droit et gauche.

Matière : Acier Rr = 90 à 105 daN/mm².

Montage

Deux montages en vis-à-vis à serrage rapide (un montage pièce droite, un montage pièce gauche) ;

Conditions de coupe

- Vitesse de coupe : 80,38 m/min ;
- fréquence de rotation : 160 tr/min ;
- avance par dent : 0,1 mm ;
- avance affichée : 315 mm/min ;
- avance travail en vertical : 157,5 mm/min ;
- profondeur de passe : ≈ 2,5 mm.

Accessoires hors série

- Vis à billes sur le mouvement longitudinal ;
- boîte de 18 avances de 12,5 à 1000 mm/min.

Cycle

- Départ de cycle ;
- avance rapide (longitudinal) ;

- avance lente (longitudinal) ;
- avance rapide (vertical) ;
- avance travail (vertical) ;
- retour rapide (vertical) ;
- retour rapide (longitudinal).

OPÉRATIONS ET TEMPS			
Opérations		Tm	Tt
Embrayer		2	
Temps de coupe : 32/157,5 + 8/315			23
Rapide : 132/1500 + 408/3000			22
Temporisations			4
Tm : Temps manuel en cmin	Totaux	2	49
Tt : Temps technologique en cmin	Temps pour 1 pièce		51 cmin

- Le temps de coupe a été calculé comme suit :

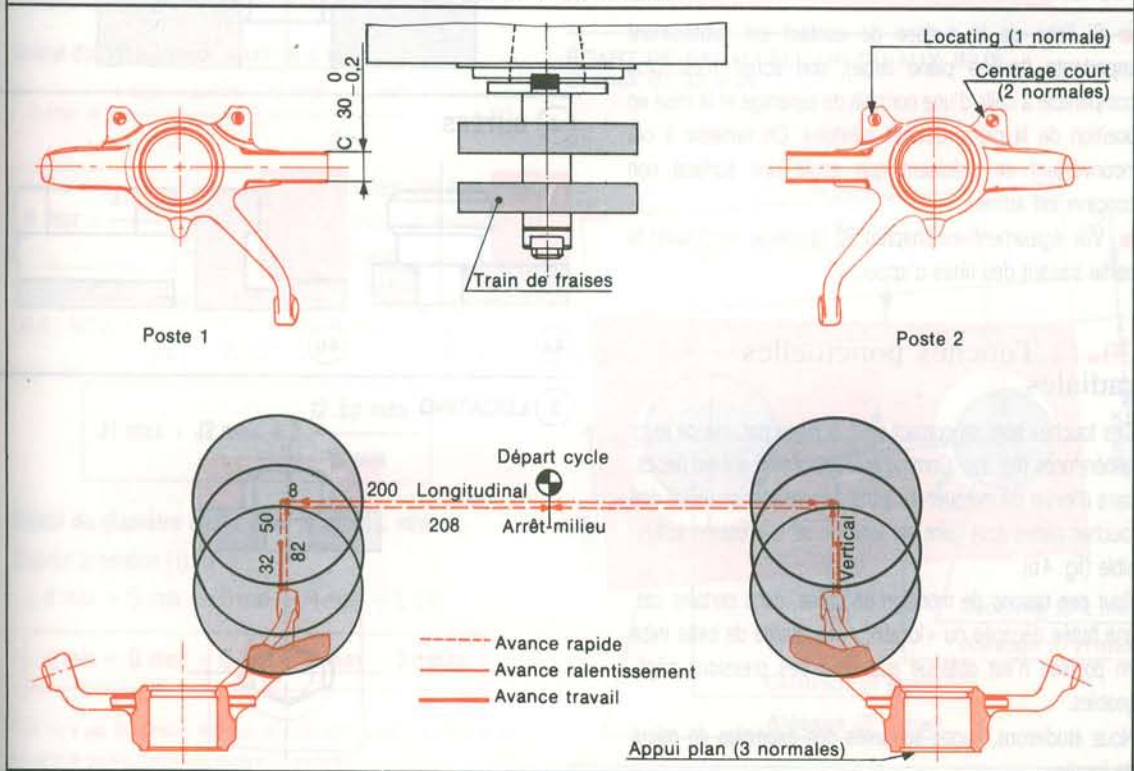
$$Tt = \frac{L}{A} = \frac{8}{315} + \frac{32}{157,5} = 0,025 + 0,208 = 0,25 \text{ min (§ 19.162)}.$$

- Le temps total d'usinage pour une pièce est égal à 0,51 min

$$\text{soit } \frac{60}{0,51} = 117,6 \text{ pièces à l'heure (production théorique à 100 \%)}.$$

$$\text{La production horaire à 75 \% est égale à : } \frac{60}{0,51} \times \frac{75}{100} = 88 \text{ pièces.}$$

DESSIN DE PHASE



20 Éléments de mise en position

20.1 Appuis ponctuels

20.1.1 Touches ponctuelles axiales

Surfaces brutes

Les touches d'appuis sont, en principe, sphériques. La pièce, lors du serrage, prend sa place avec la formation de petites empreintes sphériques.

Surfaces usinées

Les touches d'appuis sont, en principe, planes. On évite ainsi de marquer la pièce lors du serrage. Il faut toutefois veiller à ce que la pression de contact soit nettement inférieure à la limite élastique du matériau de la pièce.

REMARQUES

■ Si l'aire de la surface de contact est relativement importante (touche plane large), son action n'est plus comparable à celle d'une normale de repérage et la mise en position de la pièce devient aléatoire. On remédie à cet inconvénient en précisant que seule une surface non concave est admise.

■ Voir également au chapitre 32 (système modulaire) la partie traitant des têtes d'appui.

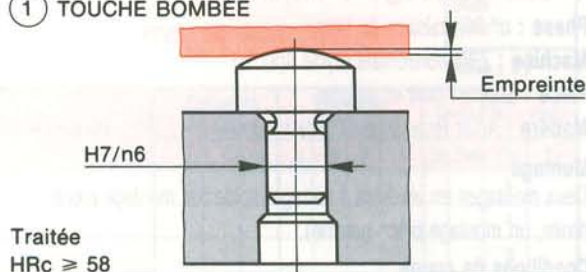
20.1.2 Touches ponctuelles radiales

Ces touches sont en contact avec la pièce par une de leurs génératrices (fig. 4a). Comme précédemment, s'il est nécessaire d'éviter de marquer les surfaces usinées, on utilise des touches plates dont l'aire est fonction de la pression admissible (fig. 4b).

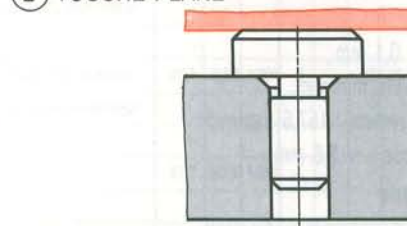
Pour des raisons de montage on utilise, dans certains cas, une butée dégagée ou « locating ». La qualité de cette mise en position n'est obtenue que pour des pressions négligeables.

Nous étudierons, pages suivantes des exemples de calcul de locating.

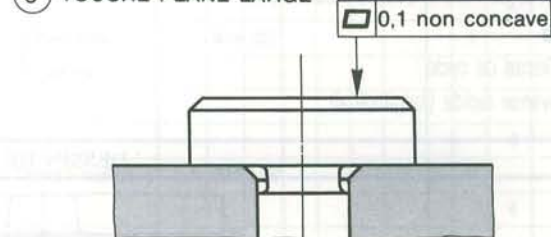
① TOUCHE BOMBÉE



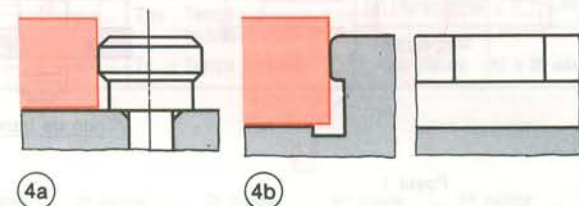
② TOUCHE PLANE



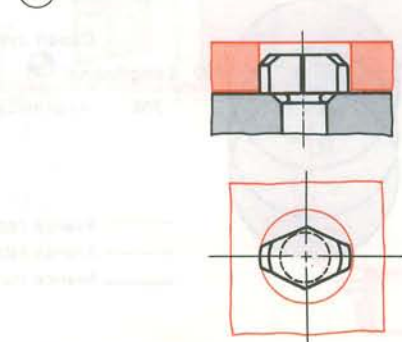
③ TOUCHE PLANE LARGE



④ BUTÉES



⑤ LOCATING



20.13 Calcul d'un locating

EXEMPLE :

Le dessin de définition figure 1 peut être considéré comme un cas général. **F** pouvant être, par exemple, une surface plane, un plan médian ou l'axe d'un alésage.

La surface **F** doit respecter une spécification de localisation **t1** et une spécification de parallélisme **t2** par rapport au plan de référence **A-B** (plan contenant les axes des deux plus grands cylindres inscrits dans les alésages **G** et **H** et perpendiculaires à l'appui plan).

VALEURS CONNUES		
Diamètres des alésages	G	H
Entraxe des alésages	Ep	
Tolérance de parallélisme *	t2	
Longueur de la pièce	W	
VALEURS CHOISIES		
Diamètre du centreur	C	
Entraxe centreur-locating	Em	
VALEURS A CALCULER		
Débattement maximal	d max	
Diamètre du locating	L	
Désaxage locating-alésage H	a	
Largeur du locating dépinçé	2e	

Calcul du débattement maximal d max

$$d \max = \frac{H \max - L \min}{2} + \frac{G \max - C \min}{2} \quad (1)$$

$$d \max = \frac{J1 \max + J2 \max}{2}$$

Cette valeur doit être compatible avec la tolérance de parallélisme.

$$\text{On a : } \tan \alpha = \frac{d \max}{Ep} = \frac{t2}{W \min} \quad \text{d'où } d \max = \frac{t2 \cdot Ep \max}{W \min}$$

$$J1 \max + J2 \max \leq 2 \frac{t2 \cdot Ep \max}{W \min}$$

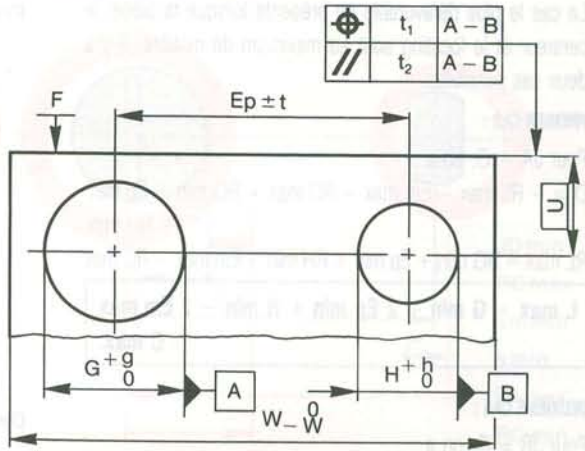
Calcul du diamètre minimal du locating L min

D'après la relation (1), on a :

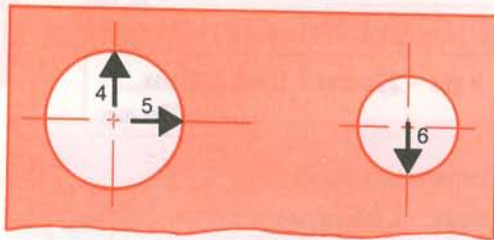
$$2 d \max = G \max - C \min + H \max - L \min$$

$$L \min = G \max - C \min + H \max - 2 d \max.$$

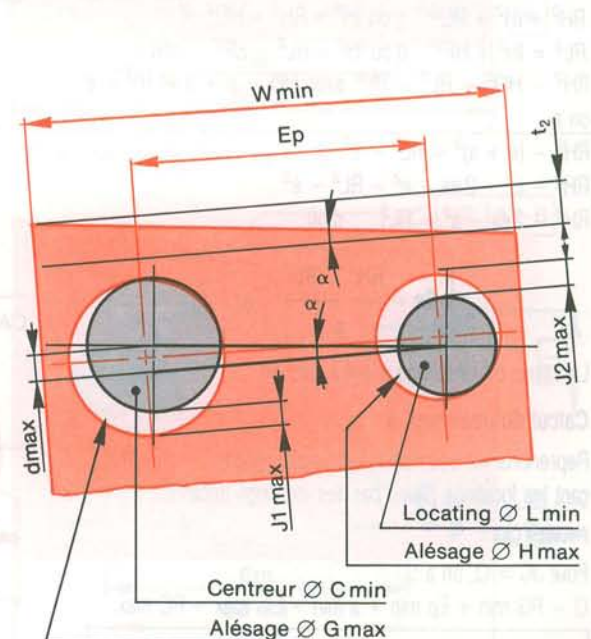
DESSIN DE DÉFINITION



MISE EN POSITION THÉORIQUE



ÉCART DE PARALLÉLISME DÙ AUX JEUX J1 max ET J2 max



* S'il n'y a pas de tolérance restrictive de parallélisme, prendre la valeur de la tolérance de position (localisation, symétrie ou coaxialité).

Calcul du diamètre maximal du locating L max

Le cas le plus défavorable se présente lorsque la pièce, le centreur et le locating sont au maximum de matière. Il y a deux cas possibles.

PREMIER CAS :

Pour $JA = 0$, on a :

$$O = -RL_{\max} - Em_{\max} - RC_{\max} + RG_{\min} + Ep_{\min} + RH_{\min}$$

$$RL_{\max} = RG_{\min} + Ep_{\min} + RH_{\min} - Em_{\max} - RC_{\max}$$

$$L_{\max} = G_{\min} + 2 Ep_{\min} + H_{\min} - 2 Em_{\max} - C_{\max}$$

DEUXIÈME CAS :

Pour $JB = 0$, on a :

$$O = RH_{\min} - Ep_{\max} + RG_{\min} - RC_{\max} + Em_{\min} - RL_{\max}$$

$$RL_{\max} = RH_{\min} - Ep_{\max} + RG_{\min} - RC_{\max} + Em_{\min}$$

$$L_{\max} = H_{\min} - 2 Ep_{\max} + G_{\min} - C_{\max} + 2 Em_{\min}$$

CHOIX D'UN LOCATING PLEIN OU DÉPINCÉ :

Si $L_{\max}$ calculé > $L_{\min}$ calculé, prendre un locating plein, sinon choisir un locating dépincé.

Détermination de l'épaisseur 2e du locating

$$RH^2 = IH^2 + HO^2 \quad \text{d'où } IH^2 = RH^2 - HO^2$$

$$RL^2 = IH^2 + HP^2 \quad \text{d'où } IH^2 = RL^2 - HP^2 \quad \text{soit :}$$

$$RH^2 - HO^2 = RL^2 - HP^2 \quad \text{avec } HO = e + a \text{ et } HP = e$$

on a

$$RH^2 - (e + a)^2 = RL^2 - e^2$$

$$RH^2 - e^2 - 2ea - a^2 = RL^2 - e^2$$

$$RH^2 - 2ea - a^2 = RL^2 \quad \text{d'où}$$

$$2e = \frac{RH^2 - RL^2}{a} - a$$

La valeur du désaxage a est à calculer.

Calcul du désaxage a

Reprenons les deux cas de figures précédents en remplaçant les locatings pleins par des locatings dépincés.

PREMIER CAS :

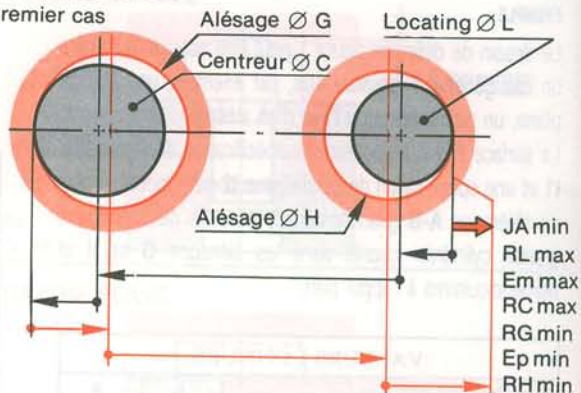
Pour $JC = 0$, on a :

$$O = RG_{\min} + Ep_{\min} + a_{\min} - Em_{\max} - RC_{\max}$$

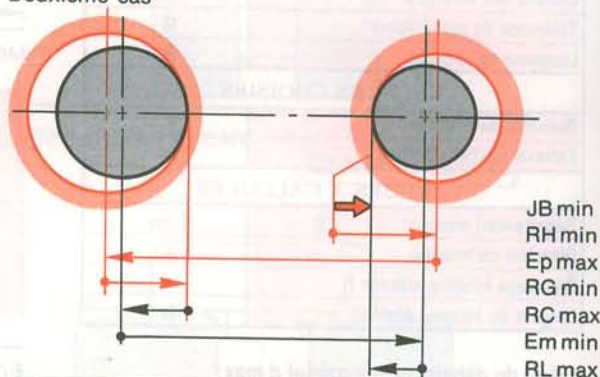
$$a_{\min} = Em_{\max} + RC_{\max} - RG_{\min} - Ep_{\min}$$

CALCUL DE L max

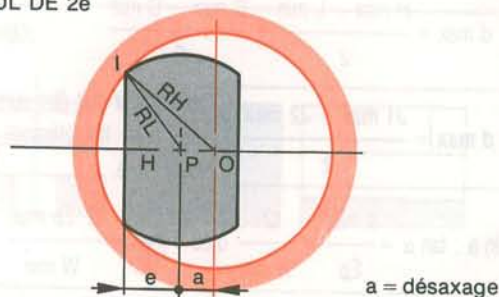
Premier cas



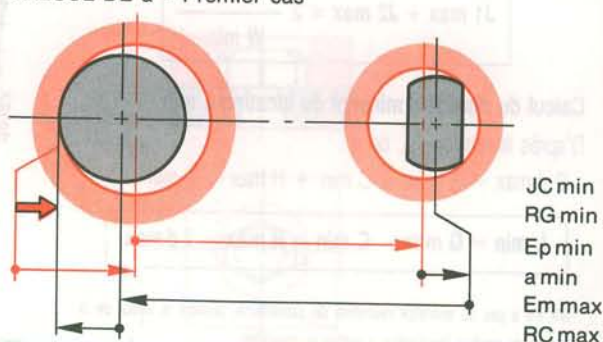
Deuxième cas



CALCUL DE 2e



CALCUL DE a - Premier cas



DEUXIÈME CAS :

Pour $JD = 0$, on a :

$$0 = -RC \max + Em \min + a \min - Ep \max + RG \min$$

$$a \min = Ep \max - RG \min + RC \max - Em \min.$$

REMARQUES :

- Les deux calculs de **a** effectués, on choisit la plus grande valeur de **a** pour le calcul de l'épaisseur **2e** du locating.
- Si les entraxes **Ep** de la pièce et **Em** du montage ont même valeur nominale avec des écarts symétriques ($\pm$), on trouve pour **a** la même valeur dans les deux cas de calculs.

20.14 Applications numériques

20.141 Première application

VALEURS CONNUES			
Diamètre des alésages	G	$= 30^{+0,05}_{-0}$	H $= 20^{+0,1}_{-0}$
Entraxe des alésages	Ep	$= 100^{+0,2}_{-0}$	
Tolérance de parallélisme	t2	$= 2$	
Longueur de la pièce	W	$= 150^{+0,5}_{-0}$	
VALEURS CHOISIES			
Diamètre du centreur	C	$= 30^{-0,01}_{-0,03}$	
Entraxe centreur locating	Em	$= 100 \pm 0,01$	
VALEURS À CALCULER			
Débattement maximal	dmax	=	
Diamètre du locating	L	=	
Désaxage locating-alésage H	a	=	
Largeur du locating dépinçé	2e	=	

Calcul du débattement maximal d max

$$d \max = \frac{t2 \cdot Ep \max}{W \min} = \frac{2 \times 100,2}{150} = 1,336.$$

Calcul du diamètre minimal du locating L min

$$\begin{aligned} L \min &= G \max - C \min + H \max - 2d \max \\ &= 30,05 - 29,97 + 20,1 - 2 \times 1,336 \\ &= 17,50. \end{aligned}$$

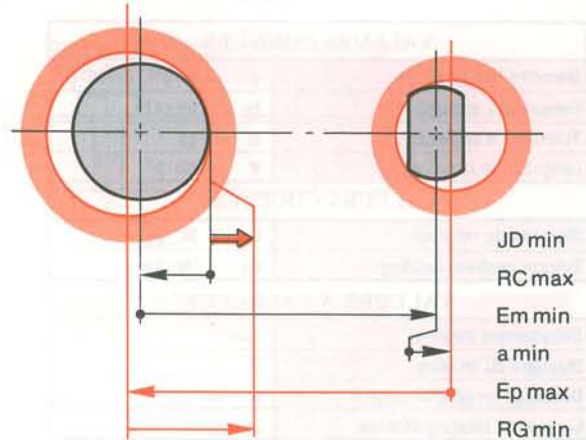
Calcul du diamètre maximal du locating L max

$$\begin{aligned} L \max &= G \min + 2Ep \min + H \min - 2Em \max - C \max \\ &= 30 + (2 \times 99,8) + 20 - (2 \times 100,01) - 29,99 \\ &= 19,59. \end{aligned}$$

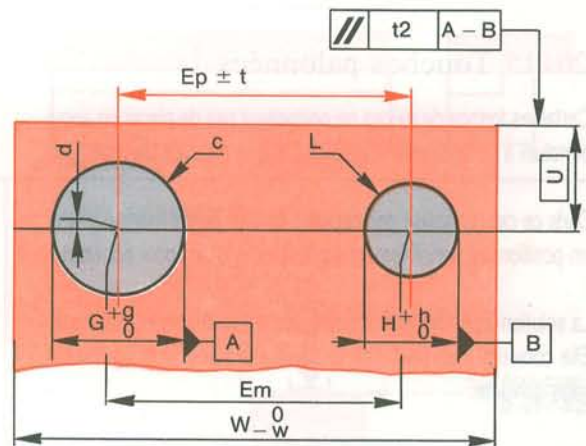
Choix du locating plein ou dépinçé

Si $L \max > L \min \Rightarrow$ locating plein
 $19,59 > 17,50.$

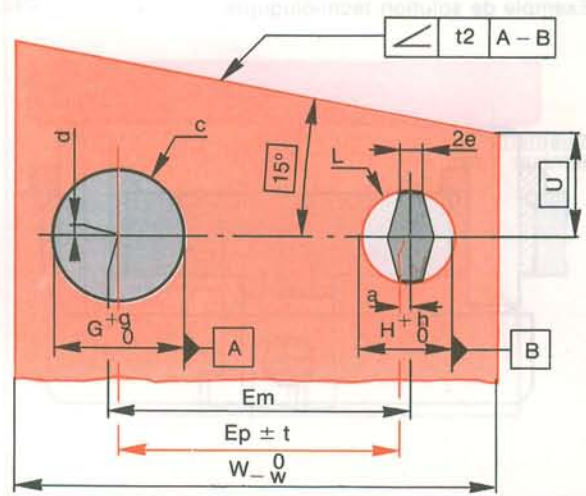
CALCUL DE a - Deuxième cas



PREMIÈRE APPLICATION



DEUXIÈME APPLICATION



20.142 Deuxième application

VALEURS CONNUES			
Diamètre des alésages	G	$= 30^{+0,05}_{-0}$	H $= 20^{+0,1}_{-0}$
Entraxe des alésages	Ep	$= 100 \pm 0,2$	
Tolérance d'inclinaison	t2	$= 0,2$	
Longueur de la pièce	W	$= 150^{+0,5}_{-0}$	
VALEURS CHOISIES			
Diamètre du centreur	C	$= 30^{+0,01}_{-0,03}$	
Entraxe centreur-locating	Em	$= 100 \pm 0,01$	
VALEURS À CALCULER			
Débattement maximal	dmax	=	
Diamètre du locating	L	=	
Désaxage locating-alésage H	a	=	
Largeur du locating dépinçé	2e	=	

$$\tan \alpha = \frac{d \max}{Ep} = \frac{t2}{W/\cos 15^\circ}$$

$$d \max = \frac{t2 \cdot Ep \max}{W \min / \cos 15^\circ} = \frac{0,2 \times 100,2}{150 / \cos 15^\circ} = 0,129$$

$$L \min = G \max - C \min + H \max - 2d \max = 30,05 - 29,97 + 20,1 - (2 \times 0,129) = 19,92$$

$$L \max = G \min + 2 Ep \min + H \min - 2 Em \max - C \max = 30 + 2 \times 99,8 + 20 - 2 \times 100,01 - 29,99 = 19,59$$

$$L \max > L \min : 19,59 < 19,92 \rightarrow \text{Locating dépinçé}$$

$$a \min = Em \max + RC \max - RG \min - Ep \min = 100,01 + 14,995 - 15 - 99,8 = 0,205$$

$$2e = \frac{RH_{\min}^2 - RL_{\max}^2}{a} - a = \frac{10^2 - (19,9/2)^2}{0,205} - 0,205 = 4,66$$

REMARQUE :

Pour le calcul de 2e, il faut prendre RL max réel, soit 19,9 et non pas 19,59.

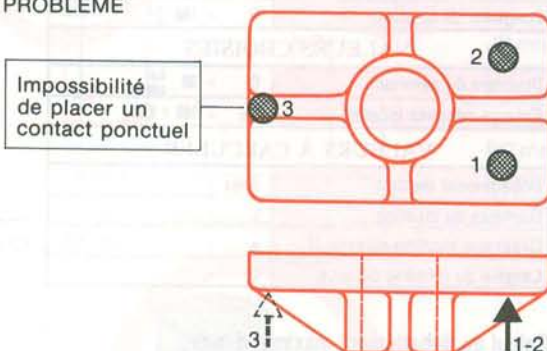
20.15 Touches palonnées

Certaines formes de pièces ne permettent pas de placer un appui ponctuel à l'emplacement théorique d'une normale de repérage.

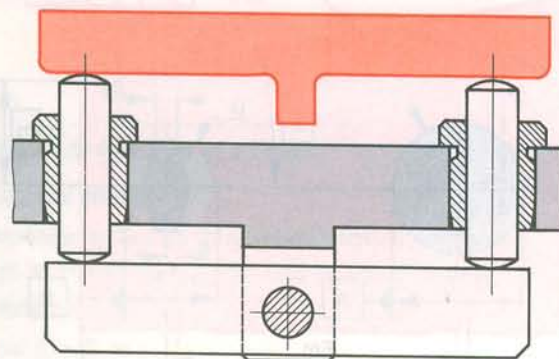
Dans ce cas, on utilise des appuis palonnés dont l'action de mise en position est sensiblement égale à celle d'un appui ponctuel.

La solution technologique représentée est relativement classique. Elle convient bien pour des touches éloignées. Voir également page suivante.

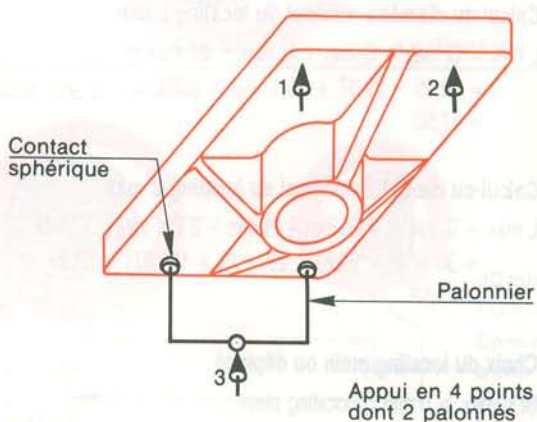
PROBLÈME



Exemple de solution technologique



PRINCIPE D'UN APPUI PALONNÉ



20.2 Appuis linéaires

Un appui linéaire est équivalent à deux normales de repérage. En fonction des pressions admissibles, on choisit :

- soit deux contacts ponctuels ;
- soit une étroite surface dégagée dans sa partie centrale ;
- soit une étroite surface continue, dans ce cas une spécification géométrique de forme est nécessaire.

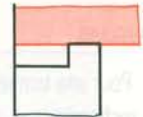
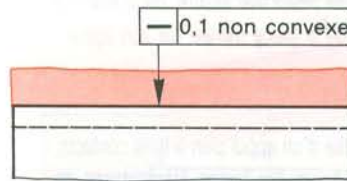
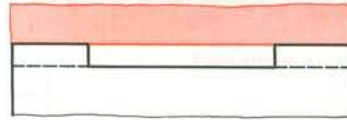
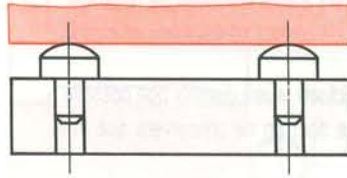
La position des appuis linéaires fixes est donnée par la fabrication du montage.

Les appuis linéaires réglables permettent un réglage en position de la pièce sur la machine. Ils autorisent notamment un réemploi du montage pour une série de pièces dont les cotes de mise en position sont voisines.

Les appuis linéaires éclipçables sont utilisés, en général, pour laisser le passage des outils.

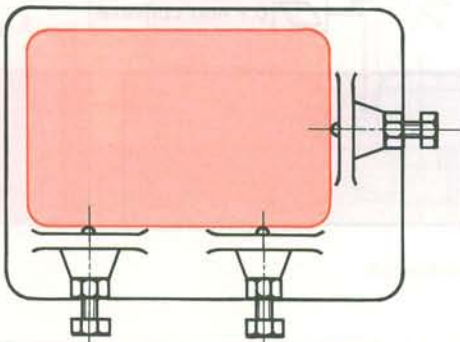
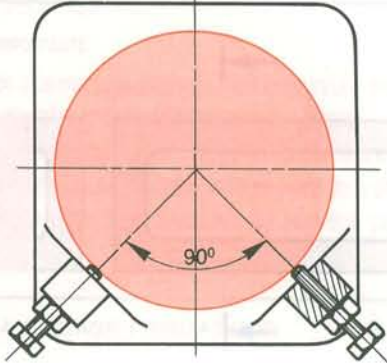
Dans l'exemple donné, la pièce est orientée par la surface qui sera usinée, puis bloquée dans cette position. Il est alors possible de dégager l'appui linéaire pour laisser le passage de l'outil.

APPUIS LINÉAIRES FIXES



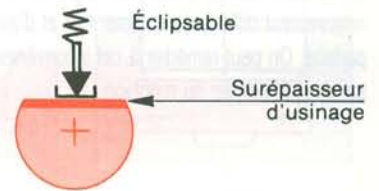
Portées traitées pour $HRc \geq 58$

APPUIS LINÉAIRES RÉGLABLES

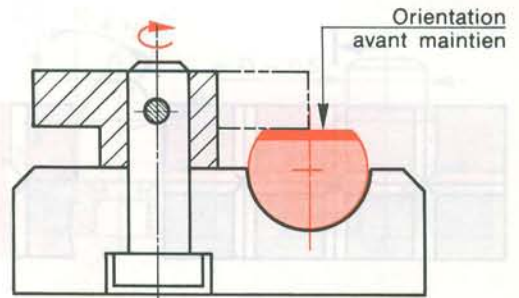


APPUIS LINÉAIRES ÉCLIPÇABLES

Principe



Exemple de solution technologique



20.3 Appuis plans

Un appui plan est équivalent à trois normales de repérage.
En fonction des pressions de contact admissibles, on choisit :

- soit trois contacts ponctuels, aussi distants que possible ;
- soit une surface plane dont on ne conservera que trois portées ;
- soit une surface plane dégagée dans sa partie centrale ;
- soit une surface plane continue ; on précise, dans ce cas, que seule surface non convexe est admise.

On obtiendra :

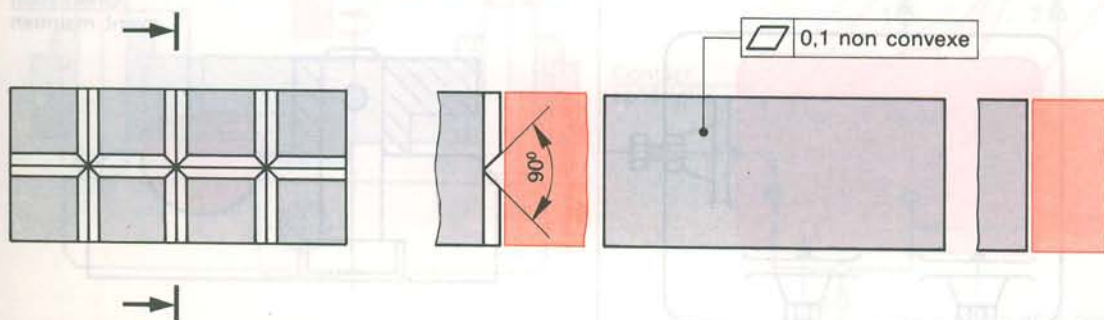
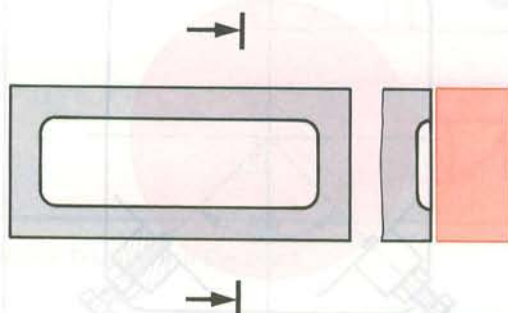
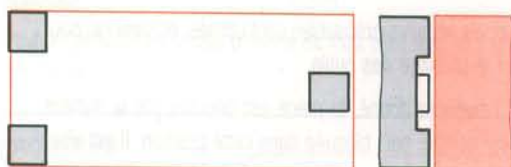
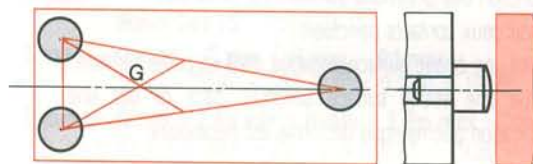
- soit une surface plane,
- soit une surface concave.

Cette spécification de forme restrictive assure, dans tous les cas, une portée correcte de la pièce usinée sur son appui.

REMARQUES :

■ Pour une bonne stabilité d'un appui plan à trois contacts, on recherche que la résultante des forces élémentaires de contact soit sensiblement confondue avec le centre de gravité G du triangle de sustentation (G est à l'intersection des médianes).

■ Entre deux surfaces planes de haute précision il est relativement difficile de chasser l'air et d'assurer une portée parfaite. On peut remédier à cet inconvénient en rainurant la surface concernée du montage.



21 Prépositionnement

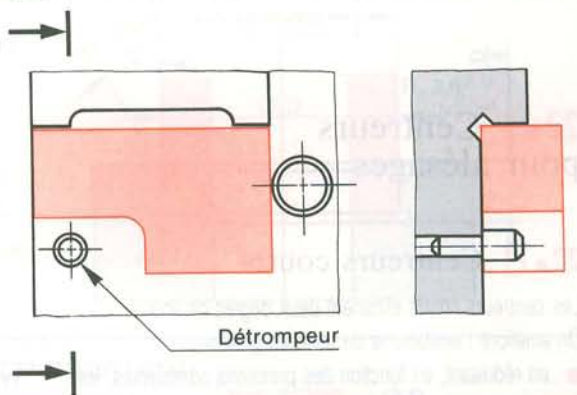
Afin de faciliter la mise en position d'une pièce, il est souvent nécessaire d'effectuer un prépositionnement.

Le prépositionnement doit assurer :

- une mise en position, sans ambiguïté, de la pièce sur le montage ;
- un guidage, sans problème, de la pièce vers ses appuis.

21.1 Détrompeurs

Un détrompeur a pour objet d'assurer une seule position possible de la pièce sur ses appuis. Pour l'exemple donné, la position unique de la pièce sur ses appuis est assurée par un obstacle placé dans une forme dissymétrique de la pièce.



21.2 Engagements

Le but d'un engagement est d'éviter l'arc-boutement d'une pièce lorsqu'on la présente dans un logement relativement précis.

Les croquis donnent les proportions d'engagements classiques de précentrage.

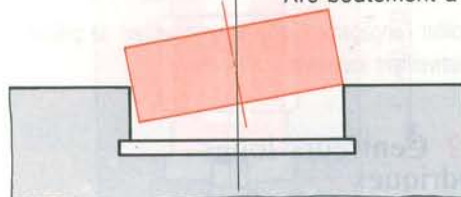
REMARQUE IMPORTANTE :

Dans l'étude d'un montage d'usinage c'est toujours une erreur grave que d'oublier le prépositionnement des pièces.

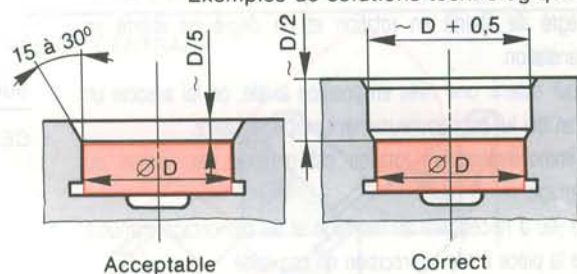
Outre les désagréments pour l'utilisateur que procure un engagement difficile, une mauvaise mise en place de la pièce peut engendrer un bridage défectueux qui peut être cause d'accident.

ENGAGEMENT DE PRÉCENTRAGE

Arc-boutement à éviter

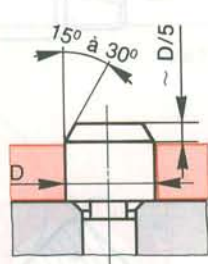
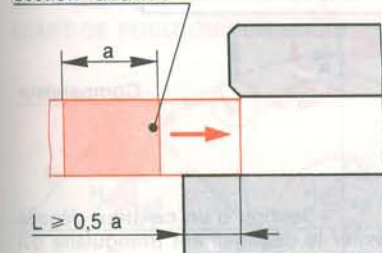


Exemples de solutions technologiques

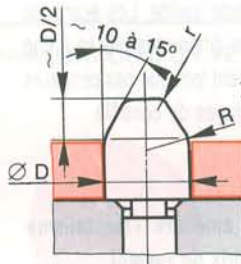


PIÈCES À GUIDAGE PRISMATIQUE

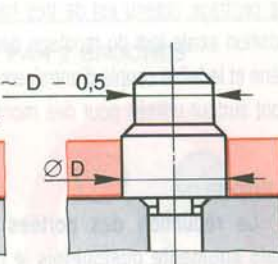
Section rabattue



Acceptable



Correct



Correct

PIÈCES CENTRÉES PAR UN ALÉSAGE

22 Centreurs fixes

22.1 Centreurs pour alésages

22.11 Centreurs courts

Les centreurs courts éliminent deux degrés de liberté.

On améliore l'isostatisme de mise en position :

- en réduisant, en fonction des pressions admissibles, les portées au maximum (longueur faible, centreur dégagé);

- en spécifiant que seule une génératrice non concave est admise.

Pour faciliter l'engagement, prévoir un chanfrein de précentrage relativement important.

22.12 Centreurs longs cylindriques

La surface cylindrique de centrage conserve à la pièce un degré de liberté en rotation et un degré de liberté en translation.

Pour obtenir une mise en position axiale, on lui associe un plan qui lui est rigoureusement perpendiculaire.

L'immobilisation en rotation est obtenue par l'action du serrage.

Le jeu J nécessaire au montage et au démontage manuels de la pièce limite la précision en coaxialité.

22.13 Centreurs longs coniques

Le centrage obtenu est de très haute qualité. Les écarts de position axiale lors du montage des différentes pièces d'une série et le faible couple d'entraînement font que ces centreurs sont surtout utilisés pour des montages de contrôle.

REMARQUES :

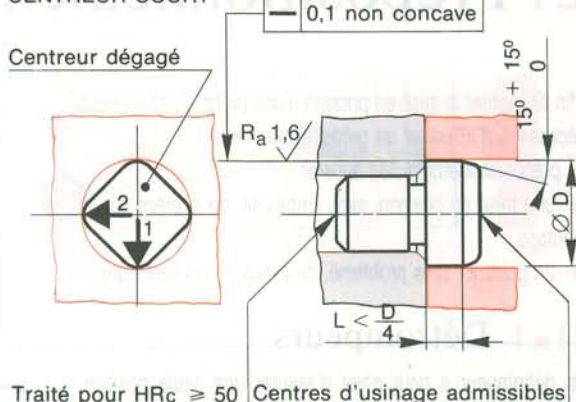
- La réduction des portées améliore l'isostatisme mais augmente quelquefois le prix de revient.

- En principe, toutes les surfaces de portée sont traitées pour obtenir une dureté $HRC \geq 50$.

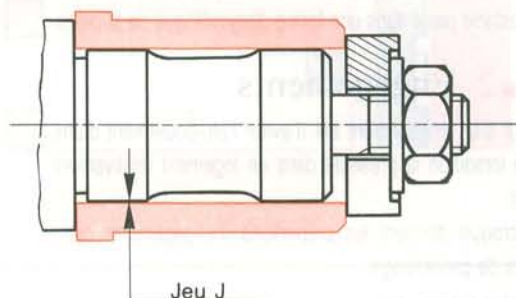
- Voir également le chapitre 24 sur les serrages concentriques.

CENTREUR COURT

Centreur dégagé

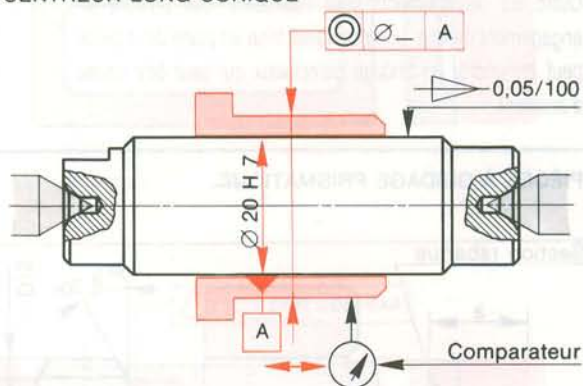


CENTREUR LONG CYLINDRIQUE



Surfaces de portée traitées pour $HRC \geq 50$

CENTREUR LONG CONIQUE



Section d'un centreur dégagé (éviter le dégagement triangulaire qui donne un contact moins correct et qui ne permet pas un contrôle aisé du diamètre)

Traité pour $HRC \geq 50$

22.2 Centreurs pour arbres

22.21 Centreurs courts

Les centreurs courts éliminent deux degrés de liberté et les conditions à respecter sont les mêmes que celles des centreurs pour alésages.

Le jeu J nécessaire au montage et au démontage de la pièce limite la précision en coaxialité.

22.22 Centreurs longs

L'élimination des quatre degrés de liberté est obtenue par un alésage long, dégagé dans sa partie centrale.

On peut dire aussi que l'on matérialise deux centreurs courts.

22.23 Vés de centrage

Les vés de centrage donnent une excellente qualité de la mise en position. Suivant les degrés de liberté à éliminer, on utilise :

- soit un vé court (élimination de deux degrés de liberté),
- soit deux vés courts (élimination de quatre degrés de liberté).

Écart de position sur un vé

En fonction de la cote de l'arbre, un vé donne un écart de position x pour le centre de la pièce. Soit :

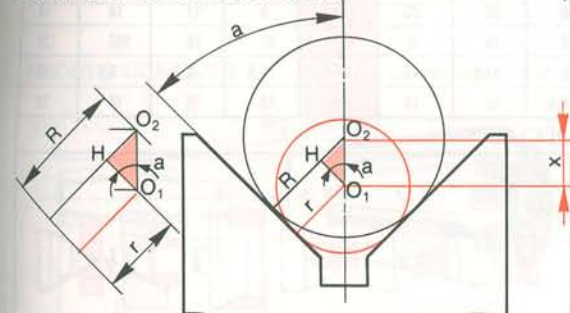
R le rayon maximal de l'arbre,

r le rayon minimal de l'arbre,

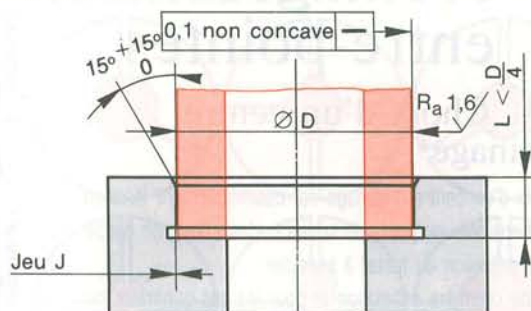
a le demi-angle du vé.

$$x = \frac{R - r}{\sin a}$$

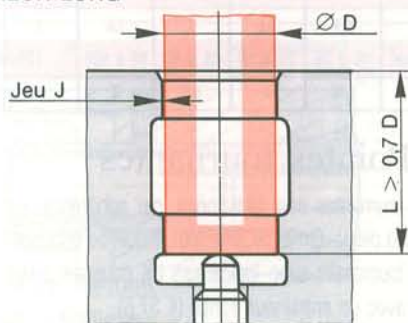
ÉCART DE POSITION SUR UN VÉ



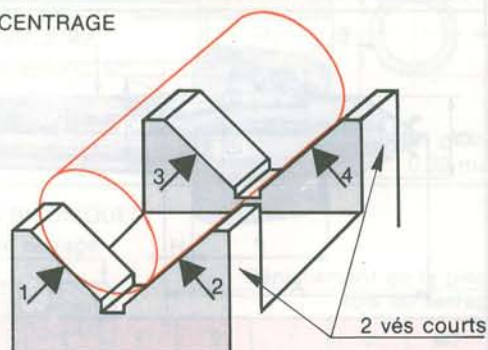
CENTREUR COURT



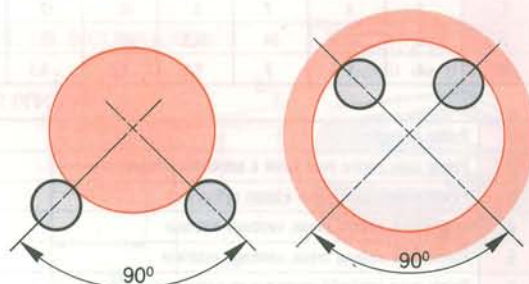
CENTREUR LONG



VÉS DE CENTRAGE



MATÉRIALISATION D'UN VÉ PAR 2 BROCHES



23 Montages entre-pointes

23.1 Choix d'un centre d'usage*

Le choix d'un centre d'usage est essentiellement fonction des dimensions, du poids de la pièce, des efforts de coupe et de la précision du travail à exécuter.

A titre de première estimation et pour les cas généraux, on peut déterminer d à l'aide du tableau ci-dessous.

$\varnothing$ max pièce	≤ 2	2 à 5	5 à 8	8 à 10	10 à 16
d	0,5	0,8	1	1,6	2
$\varnothing$ max pièce	16 à 25	25 à 45	45 à 80	80 à 120	> 120
d	3,15	4	6,3	8	10

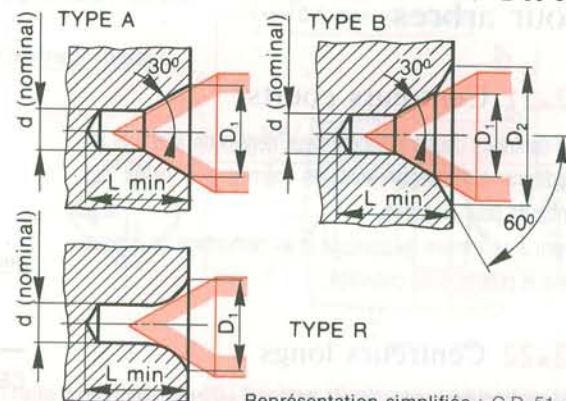
23.2 Pointes tournantes

Les pointes tournantes sont entraînées, par adhérence, en rotation avec la pièce. On évite ainsi tout risque de grippage.

Les pointes tournantes avec indicateurs de poussée axiale sont utilisés avec un entraîneur frontal (§ 37.6).

CENTRES D'USINAGE

NF E 60-051



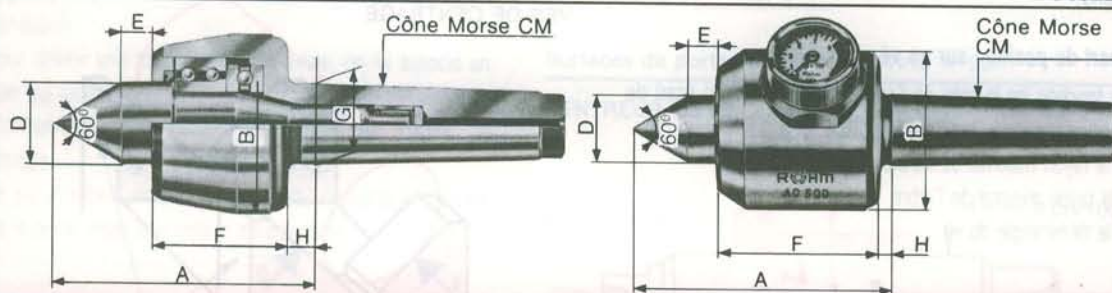
Représentation simplifiée : G.D. 51-4.

d	D_1	D_2	L	d	D_1	D_2	L
(0,5)	1,06	—	1,3	3,15	6,70	10	7
(0,8)	1,70	—	1,9	4	8,50	12,5	8,9
1	2,12	3,15	2,3	(5)	10,60	16	11,2
1,6	3,35	5	3,5	6,3	13,20	18	14
2	4,25	6,3	4,5	(8)	17	22,4	17,9
2,5	5,30	8	5,5	10	21,20	28	22,5

Éviter l'emploi des valeurs entre parenthèses.

POINTES TOURNANTES

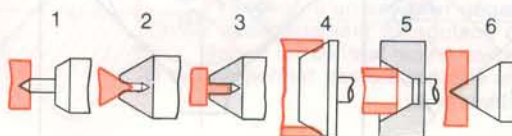
POINTES TOURNANTES AVEC INDICATEUR DE POUSSÉE



CM	0	1	2	3	3	4	5	6	6	CM	3	4	5	6
A	44	60,5	65	70,5	79,5	102,5	129	152	196	A	64	72	95	120
B	25	36	45	50	60	70	90	105	140	B	25	32	40	52
D	10	15	20	22	25	32	40	50	60	D	9	11	14	14
E	3	4	7	9	10	12	15	15	15	E	67	76	103	130
F	29	37,5	34	36,5	42	53	70	81,5	116	F	6,5	8,5	8,5	13
H	4	6	7	6,5	6,5	8,5	8,5	13	13	H	12	15	16	23

POINTES SPÉCIALES

1	Pointe dégagée
2	Pointe avec centre pour pièce à extrémité conique
3	Pointe creuse pour pièce à téton cylindrique
4	Pointe pour embout creux, centrage intérieur
5	Pointe pour embout creux, centrage extérieur
6	Pointe avec extrémité rapportée en carbure



24 Serrages concentriques

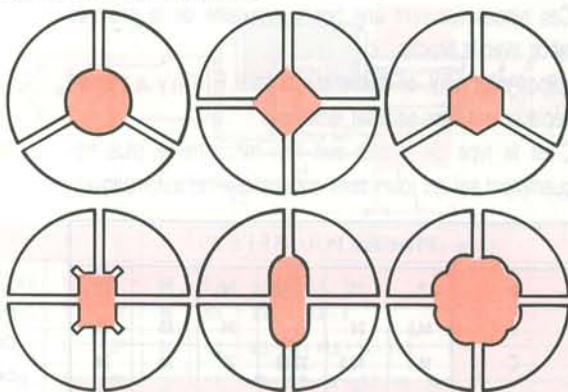
Les dispositifs à serrage concentrique assurent, à la fois, la mise en position radiale et le maintien des pièces.

24.1 Pinces tirées

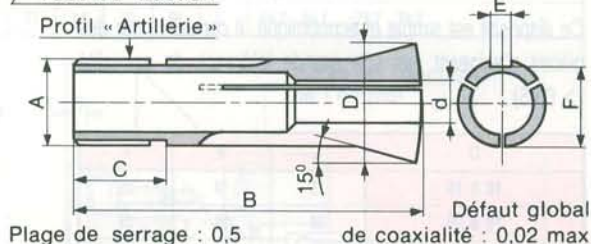
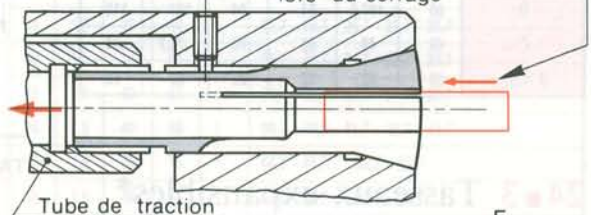
Ces pinces assurent une bonne coaxialité de la prise de pièces avec l'axe de la broche. Elles présentent toutefois l'inconvénient, lors du serrage, d'entraîner la pièce dans un déplacement axial relativement important.

Les pinces biconiques se distinguent par une bonne répartition du serrage sur la surface à maintenir et en particulier le serrage est assuré dans la zone la plus proche de l'outil.

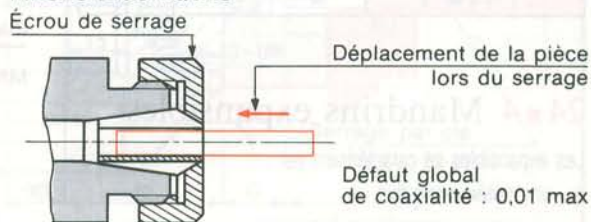
EXEMPLES DE SECTIONS



PINCES TIRÉES W



PINCES BICONIQUES



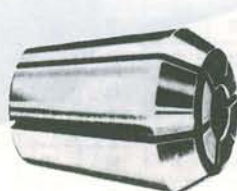
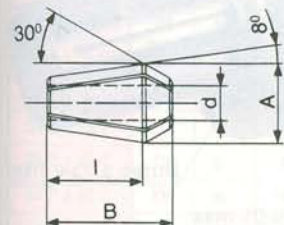
PINCES TIRÉES W							
A	15	20	25	E	3	4	5
B	58	73	97,6	F	13,8	18,5	23
C	15	17	25	d min	0,5	0,5	0,5
D	20,2	26,3	33,7	d max	10,7	14,5	19

PINCES BICONIQUES E					
A	16	20	25	32	40
B	27	31	35	40	46
d	0,5 à 8	1 à 12	1 à 16	2 à 20	4 à 26
l	21,4	24,2	27	30,8	34,4

PINCES BICONIQUES ES						
A	12	17	21	26	33	41
B	18	27	31	35	40	46
d	0,5 à 7	0,5 à 9	0,5 à 12	0,5 à 16	2 à 20	3 à 26
l	14,5	21	24	27	31	35

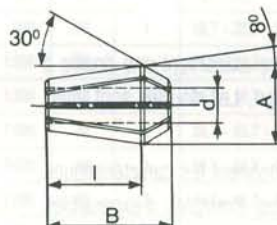
PINCES BICONIQUES E

Plage de serrage : 0,2



PINCES BICONIQUES ES

Plages de serrage :
0,5 jusqu'à d = 3
1 à partir de d = 4



24.2 Pincés poussées

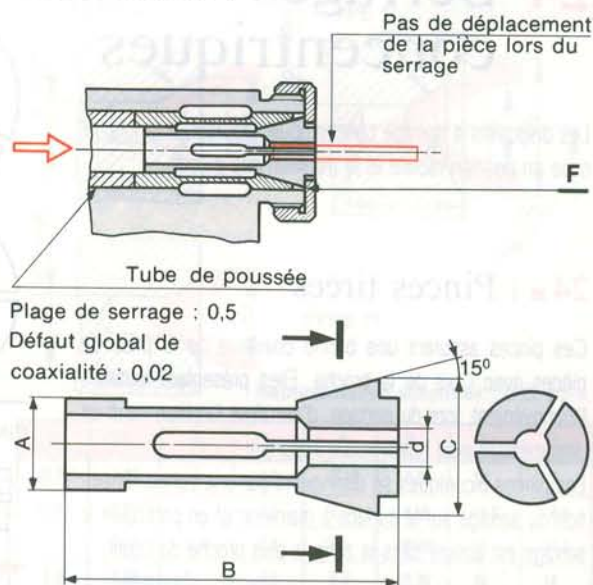
Ces pincés assurent une bonne coaxialité de la prise de pièce avec la broche.

Lorsqu'elles sont en butée sur la face F, il n'y a pas de déplacement axial pendant le serrage.

C'est le type de pincés que l'on rencontre le plus fréquemment sur les tours semi-automatiques et automatiques.

PINCES POUSSÉES F						
A	12	15	17,46	20	22	28
B	44,5	24	51	54	55	70
C	18,1	19,2	22,05	26	30	38
d max	10	12	14	16	18	22,5
A	35	38	48	58	64	66
B	80	107,5	94	94	124	110
C	48	49	60	70	78,7	84
d max	30	32	42	52	55	60

PINCES POUSSÉES F

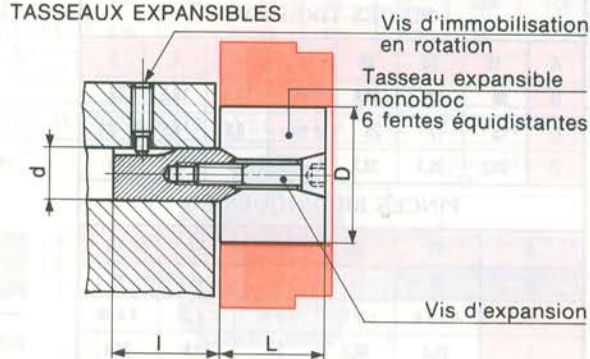


24.3 Tasseaux expansibles*

Ce dispositif est simple et économique. Il convient pour des pièces n'exigeant pas une grande tolérance de coaxialité ($> 0,05$).

D	L	d	l
10 à 16	25	12	25
15 à 25	35	20	35
15 à 50	40	20	40
15 à 80	50	30	50

TASSEAUX EXPANSIBLES



24.4 Mandrins expansibles

Les expansibles se caractérisent par :

- une butée axiale fixe,
- un serrage concentrique énergétique,
- une grande précision en coaxialité pour la prise de pièce.

PRINCIPE :

Sur un arbre conique, on déplace axialement une douille à fentes alternées en acier à ressort. Les douilles sont interchangeables.

Les tableaux, pages suivantes, donnent les caractéristiques des expansibles standards et des exemples d'expansibles spéciaux.

MANDRINS EXPANSIBLES

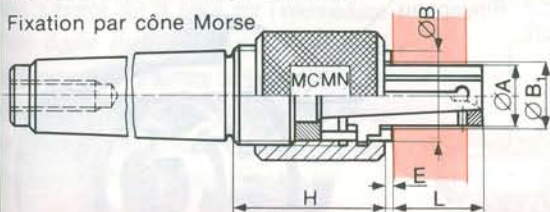


Défaut global de coaxialité : 0,01 max.

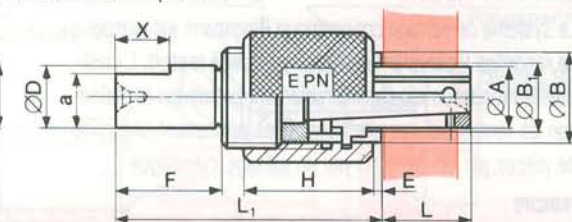
* Fabrication : Schaublin — Synergie. 75011-Paris.

MANDRINS À SERRAGE ARRIÈRE

Fixation par cône Morse



Fixation entre-pointes



A	Cône Morse n°			L ₁	F	D	a	X	B	B ₁	E	H	L	Δ A*	Ø A standard (au repos)
5,5 à 7,5	2	3	4	58,5	30	10	8,5	12	11	8,5	1	22	12	0,5	5,5 - 6 - 6,5 - 7
7,5 à 9,5		3	4	63	30	12	10	13	14	10,5	1	26	16	0,5	7,5 - 8 - 8,5 - 9
9,5 à 12	2	3	4	71,5	35	12	10	15	17	13,2	1	27	20	0,5	9,5 - 10 - 10,5 - 11 - 11,5
12 à 15	2	3	4	74	35	14	13	15	21	16	1	29	26	0,5	12 - 12,5 - 13 - 13,5 - 14 - 14,5
14,5 à 19,5	2	3	4	75	35	18	16	15	27	21	1,5	30	35	0,5	14,5 - 15... 18,5 - 19
19,5 à 25		3	4	85,5	40	20	18	20	32	26	1,5	30	35	0,5	19,5 - 20... 24 - 24,5
24,7 à 29,7		3	4	93,5	45	25	23	22	37	31	1,5	40	42	1	24,7 - 25,7 - 26,7 - 27,7 - 28,7
29,7 à 34,7		3	4	98,5	50	30	25	25	42	36	1,5	40	46	1	29,7 - 30,7 - 31,7 - 32,7 - 33,7
34,7 à 39,7			4	106,5	55	40	35	28	48	41	1,5	40	52	1	34,7 - 35,7 - 36,7 - 37,7 - 38,7
39,7 à 44,7			4	111,5	60	40	35	30	53	46	1,5	40	58	1	39,7 - 40,7 - 41,7 - 42,7 - 43,7
44,7 à 54,7			4	124	67	45	39	35	62	55	1,5	45	75	1	44,7 - 45,7... 52,7 - 53,7
54,7 à 64,7			4	130	67	50	44	35	72	65	1,5	48	85	1	54,7 - 55,7... 62,7 - 63,7
64,7 à 79,7			4	135,5	67	50	45	35	71	83	1,5	50	96	1	64,7 - 65,7... 77,7 - 78,7

* Expansibilité maximale de chaque douille.

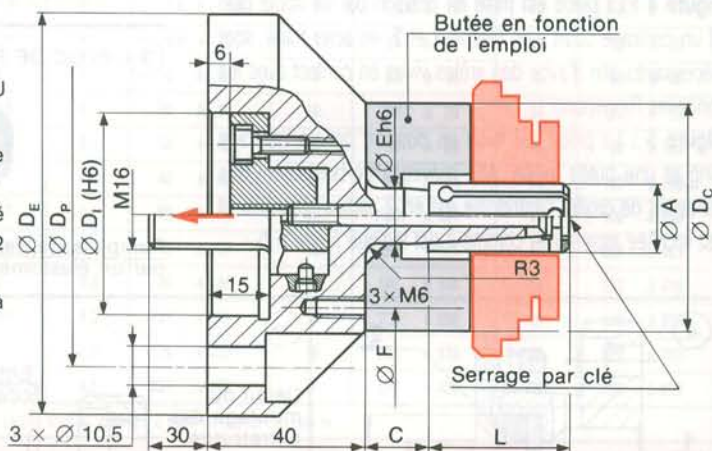
MANDRINS À FIXATION PAR PLATEAU

Le serrage des douilles peut être commandé :

- soit manuellement, par l'extrémité avant, à l'aide d'une clé (1/2 vue supérieure de la figure);
- soit par l'arrière, à l'aide d'un tube de tirage, manœuvré manuellement, pneumatiquement ou hydrauliquement (1/2 vue inférieure de la figure).

La butée est démontable et conçue en fonction des pièces à mettre en position axiale.

Défaut global de coaxialité : 0,01 max.



A	D _E	D ₁	D _P	D _C	F	C	E	P**	L	Δ A	Ø A standard (au repos)
14,7 à 19,7	102	51,5	75	60	40	16	14	700	35	1	14,7 - 15,7 - 16,7 - 17,7 - 18,7
19,7 à 24,7	102	51,5	75	60	40	16	19	900	40	1	19,7 - 20,7 - 21,7 - 22,7 - 23,7
24,7 à 29,7	102	51,5	75	60	40	16	23	1200	46	1	24,7 - 25,7 - 26,7 - 27,7 - 28,7
29,7 à 34,7	112	61	85	70	54	16	27	1200	50	1	29,7 - 30,7 - 31,7 - 32,7 - 33,7
34,7 à 39,7	112	61	85	70	54	16	31,5	1500	60	1	34,7 - 35,7 - 36,7 - 37,7 - 38,7
39,7 à 44,7	112	61	85	70	54	16	36	2000	60	1	39,7 - 40,7 - 41,7 - 42,7 - 43,7
44,7 à 54,7	135	80	104,8	100	78	22	42	2000	80	2	44,7 - 46,7 - 48,7 - 49,7 - 50,7 - 52,7
54,7 à 64,7	135	80	104,8	100	78	22	51	2500	90	2	54,7 - 56,7 - 58,7 - 59,7 - 60,7 - 62,7

24.5 Système Ringspann*

Le système de serrage concentrique Ringspann est composé de rondelles légèrement coniques en acier à ressort. L'élasticité des rondelles est considérablement accrue par la réalisation de fentes radiales alternées. Elles permettent une prise de pièces par un arbre ou par un alésage cylindrique.

PRINCIPE :

Au moment du serrage les pièces sont d'abord centrées puis plaquées sur leur face d'appui.

On peut utiliser :

- soit des rondelles simples que l'on empile en fonction des besoins,
- soit des blocs de rondelles standards.

Défaut de coaxialité : 0,01 max.

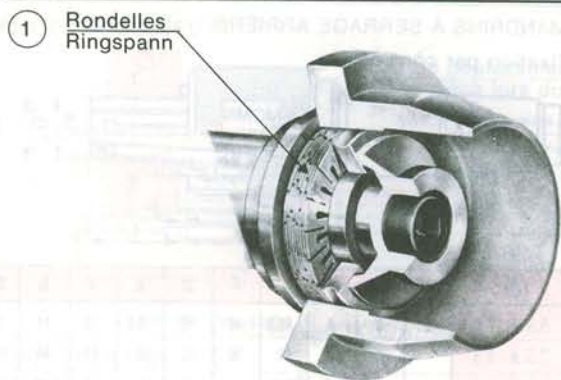
Tolérance admissible sur le $\varnothing$ des pièces serrées : IT 11.

24.51 Prises de pièces par un arbre cylindrique

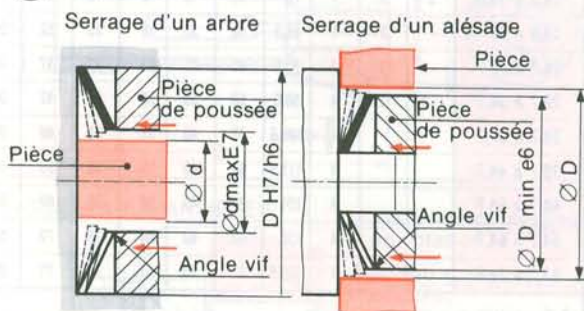
EXEMPLES :

Figure 4 : La pièce est mise en position par un appui plan et un centrage court. Les pièces 1 et 2, en acier traité, sont nécessaires afin d'avoir des arêtes vives en contact avec les rondelles Ringspann.

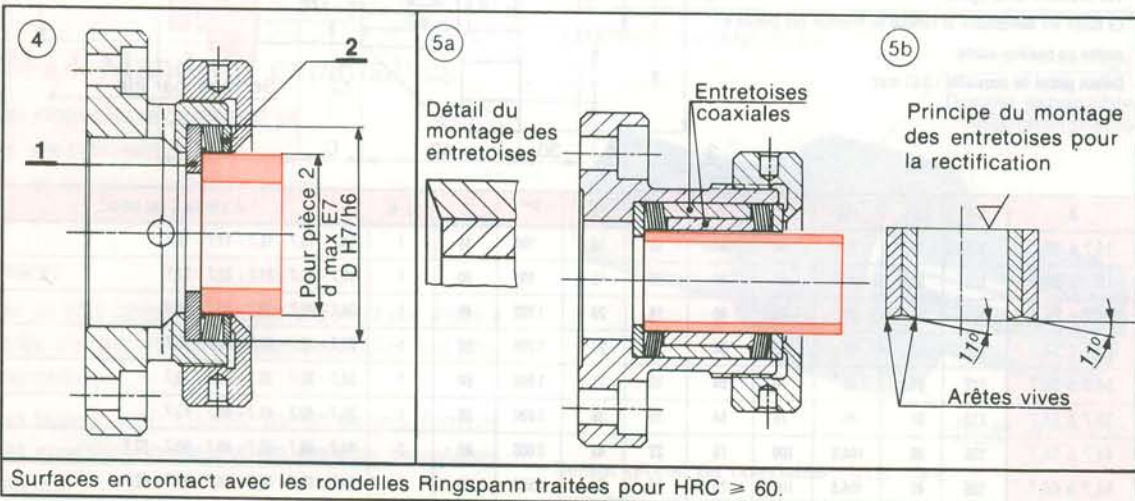
Figure 5 : La pièce est mise en position par un centrage long et une butée axiale. Afin d'éviter l'arc-boutement des rondelles de droite, l'entretoise est en 2 parties coaxiales et est rectifiée assemblée comme il est indiqué figure 5 b.



2 PRINCIPE

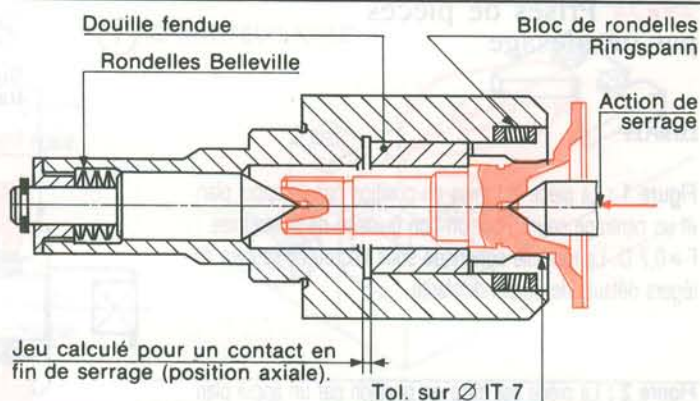


3 BLOC DE RONDelles



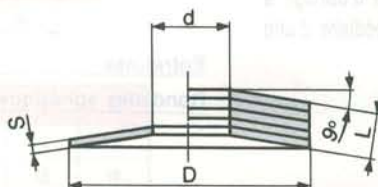
* Ringspann — Univacier : 93500-Pantin.

Dans cet exemple, l'action des rondelles Ringspann s'exerce sur la pièce par l'intermédiaire d'une douille élastique fendue. On évite ainsi toute marque sur la surface de serrage. La pièce est maintenue à l'autre extrémité par une pointe de centrage sur laquelle s'exerce la poussée d'un ensemble de rondelles Belleville.



RONDELLES RINGSPANN TYPE A Qualité 1

M_1 : Moment de rotation maximal transmissible par une rondelle.



BLOC DE RONDELLES RINGSPANN RN 1113

M_2 : Moment de rotation maximal transmissible par le bloc.
Nota : calcul du moment de rotation, voir chapitre 45.

D	d	S	M_1^*	L	M_2^*	L	M_2^*	L	M_2^*
18	7 à 11	0,5	0,013 à 0,095	4	0,1 à 0,76	6	0,16 à 1,1	8	0,21 à 1,5
32	10 à 20	0,75	0,12 à 0,48	6	0,96 à 3,8	9	1,4 à 5,8	12	0,9 à 7,7
42	20 à 30	0,75	0,48 à 1,8	6	3,8 à 8,6	9	5,8 à 13	12	7,7 à 17
52	30 à 40	0,75	1,08 à 1,9	6	8,6 à 15	9	13 à 23	12	17 à 30
62	40 à 50	0,75	1,9 à 3	6	15 à 24	9	23 à 36	12	30 à 48
80	50 à 60	1	3,9 à 5,6	6	23 à 34	10	39 à 56	16	62 à 90
90	60 à 70	1	5,6 à 7,5	6	34 à 45	10	56 à 75	16	90 à 120
100	70 à 80	1	7,5 à 10	6	45 à 60	10	75 à 100	16	120 à 160
110	80 à 90	1	10 à 12,7	6	60 à 76	10	100 à 127	16	160 à 203
120	90 à 100	1	12,7 à 15,7	6	76 à 94	10	127 à 157	16	203 à 251
140	95 à 115	1,25	17,7 à 26	6,3	89 à 130	10	142 à 208	20	283 à 416
160	115 à 135	1,25	26 à 35,8	6,3	130 à 179	10	208 à 286	20	416 à 573
180	135 à 155	1,25	35,8 à 47,3	6,3	179 à 237	10	286 à 378	20	573 à 757
200	155 à 170	1,25	47,3 à 53,6	6,3	237 à 268	10	378 à 429	20	757 à 858

* La valeur la plus faible se rapporte au diamètre d minimal et la plus grande au diamètre d maximal. Valeurs en daNm.

Exemple de désignation d'une rondelle Ringspann, type A, qualité I, diamètre d'appui 32 H7, diamètre de serrage sur la pièce $19 +0,2$:

Rondelles Ringspann A 032019,02 I

Exemple de désignation d'un bloc de rondelles type A de longueur $L = 9$, diamètre d'appui 32 H7, diamètre de serrage sur la pièce $17 \pm 0,05$:

Bloc de rondelles Ringspann RN 113 A 032017,05 × 9

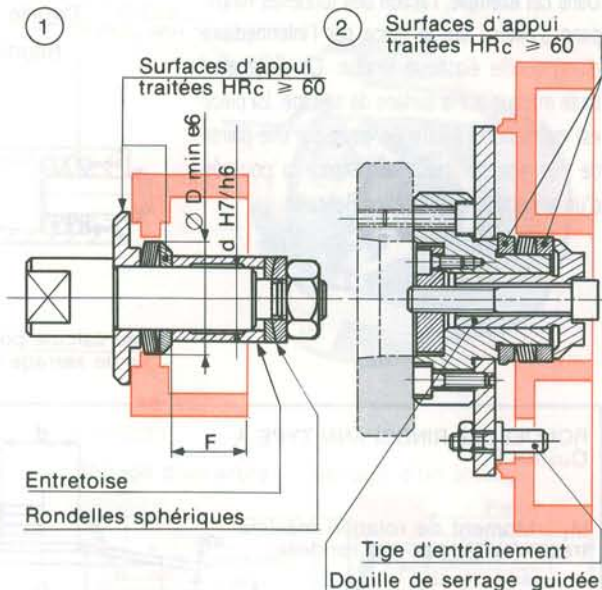
NOTA : Seul le diamètre maximal de serrage intervient dans la désignation. Étant entendu que la tolérance sur ce diamètre doit être inférieure à IT 11.

24.52 Prises de pièces par un alésage

EXEMPLES :

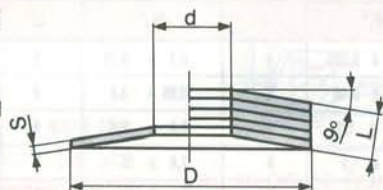
Figure 1 : La pièce est mise en position par un appui plan et un centrage court. Pour un bon guidage de l'entretoise : $F \geq 0,7 D$. La rondelle sphérique sous l'écrou compense de légers défauts de perpendicularité.

Figure 2 : La pièce est mise en position par un appui plan et un centrage court. L'importance du couple d'usinage a nécessité un entraînement positif par l'intermédiaire d'une tige qui s'engage dans un trou de la pièce.



RONDELLES RINGSPANN TYPE B Qualité 1

M_1 : Moment de rotation maximal transmissible par une rondelle.



BLOC DE RONDELLES RINGSPANN RN 1113

M_2 : Moment de rotation maximal transmissible par le bloc.
Nota : calcul du moment de rotation, voir chapitre 45.

d	D	S	M_1^*	L	M_2^*	L	M_2^*	L	M_2^*
7	14 à 18	0,5	0,039	4	0,31	6	0,47	8	0,62
11	18 à 22	0,5	0,095	4	0,76	6	1,1	8	1,5
15	22 à 27	0,5	0,18	4	1,4	6	2,2	8	2,9
15	27 à 37	0,75	0,27	6	2,2	9	3,2	12	4,3
20	32 à 42	0,75	0,48	6	3,8	9	5,8	12	7,7
25	37 à 47	0,75	0,75	6	6	9	9	12	12
30	42 à 52	0,75	1,08	6	8,6	9	13	12	17
40	52 à 62	0,75	1,9	6	15	9	23	12	30
50	62 à 70	0,75	3	6	24	9	36	12	48
50	70 à 80	1	3,9	6	23	10	39	16	62
60	80 à 90	1	5,6	6	34	10	56	16	90
70	90 à 100	1	7,5	6	45	10	75	16	120
80	100 à 110	1	10	6	60	10	100	16	160
90	110 à 120	1	12,7	6	76	10	127	16	203
100	120 à 130	1	15,7	6	94	10	157	16	251
100	130 à 140	1,25	19,7	6,5	99	10	158	20	315
115	140 à 160	1,25	26	6,5	130	10	208	20	416
135	160 à 180	1,25	35,8	6,5	179	10	286	20	573

Désignation dimensionnelle des rondelles et des blocs de rondelles, voir tableau page précédente.

* Valeurs en daN.m.

25 Répartiteurs

Les répartiteurs permettent de situer un élément d'une pièce (axe, plan, etc.) en partageant, de façon sensiblement égale, la matière autour de cet élément.

25.1 Vés de centrage

Les vés de centrage standardisés, représentés ci-contre, définissent, avec une précision généralement acceptable, l'axe de symétrie XX' de la pièce.

REMARQUES :

- Le vé fixe élimine deux degrés de liberté.
- Le vé mobile élimine un degré de liberté.

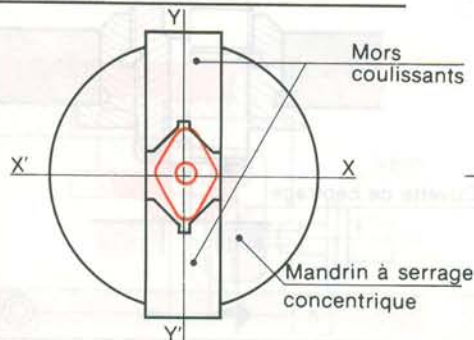
D	L	L ₁	L ₂	A	B	C
38	40	30	32	20	8	7
46	50	40	40	25	12	19
58	63	50	50	32	16	11
D ₁	D ₂	D ₃	E	E ₁	P	P ₁
4,6	4,9	0,7	10	6	4	1,8
6,1	6,7	1	12	8	5	2
8,1	8,7	1	16	10	6	2

25.2 Vés de centrage à serrage symétrique

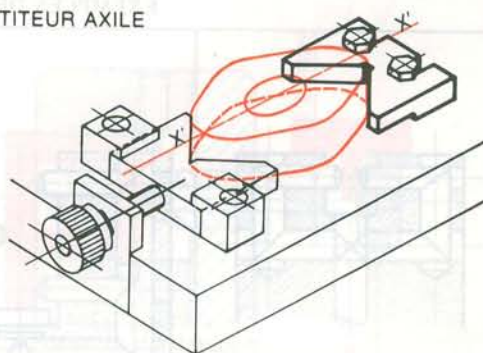
Le déplacement symétrique des vés permet de définir, par rapport à la surface latérale de la pièce, les axes XX' et YY'. C'est le cas, par exemple, d'un mandrin de tour, à serrage concentrique, et équipé de 2 mors en vés.

REMARQUE :

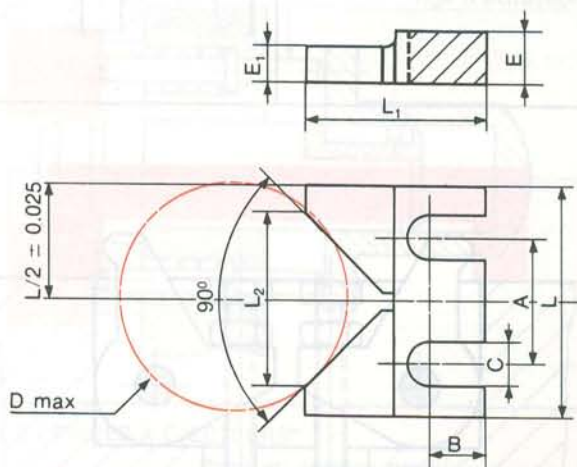
Voir également, page suivante, des exemples de répartiteurs axiles.



RÉPARTITEUR AXILE

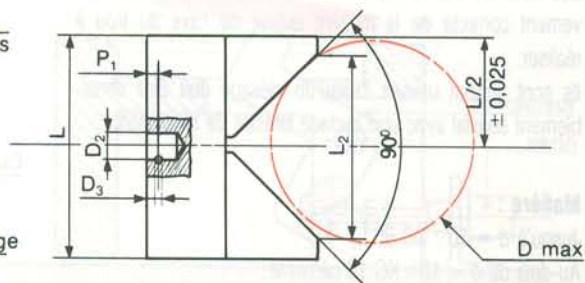
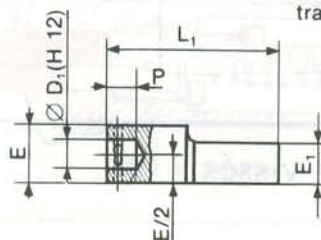


VÉ FIXE

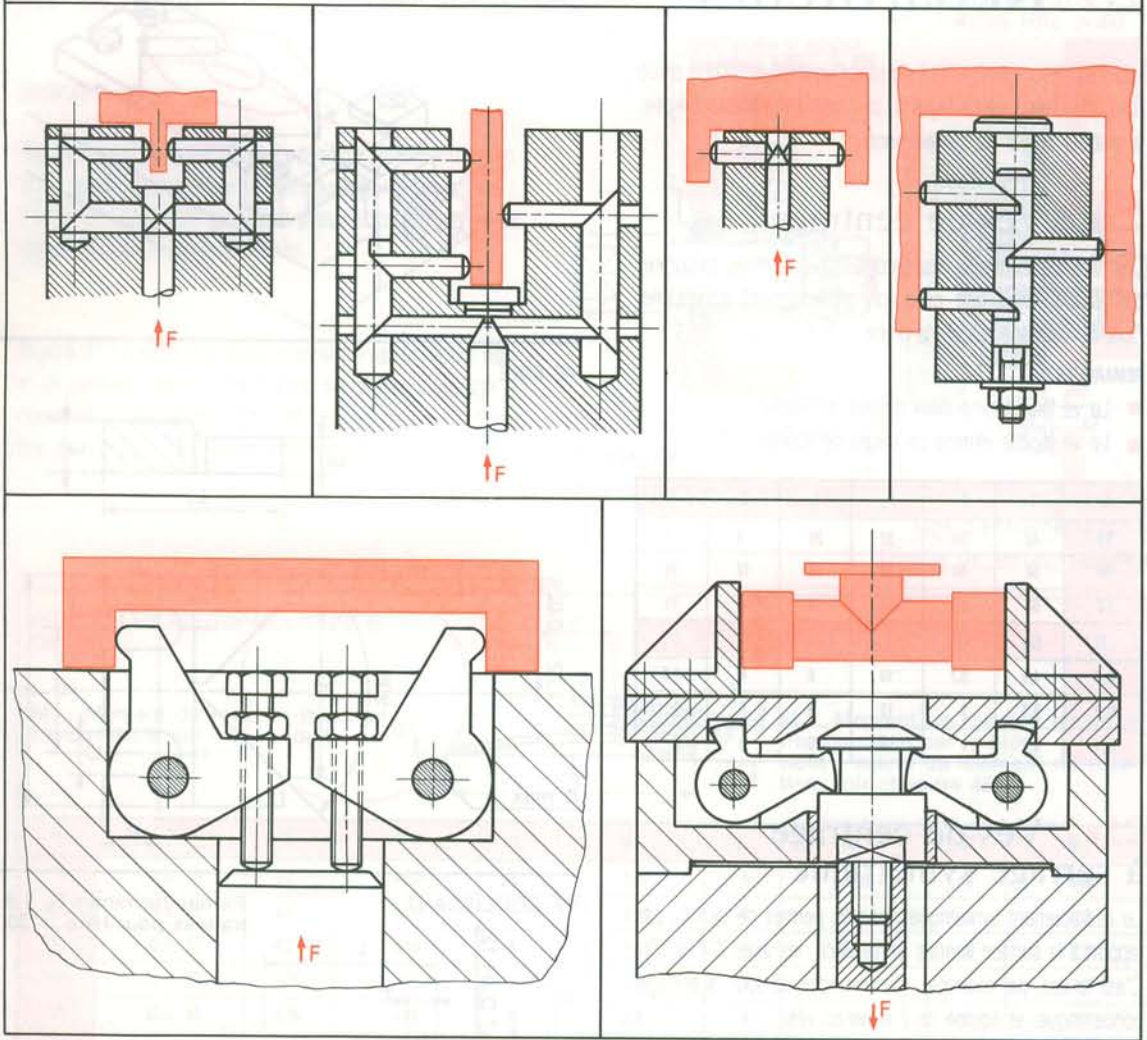


VÉ COULISSANT

Parties frottantes R_a 1,6
traitées pour HRc ≥ 30



EXEMPLES DE RÉPARTITEURS AXILES



25.3 Canons vissés à cuvette

Les canons vissés à cuvette assurent une répartition relativement correcte de la matière autour de l'axe du trou à réaliser.

Ils sont surtout utilisés lorsqu'un alésage doit être sensiblement coaxial avec une surface latérale de révolution.

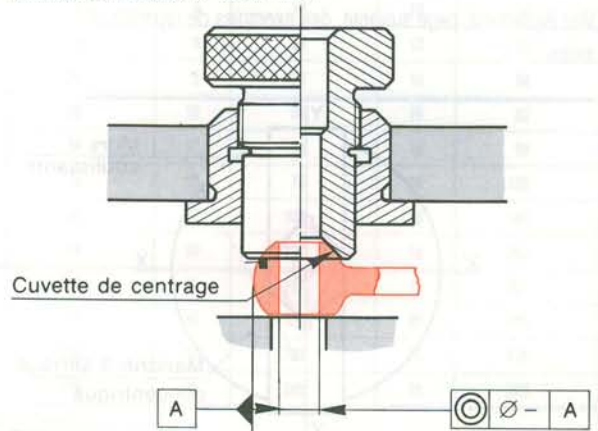
Matériau :

Jusqu'à $d = 10$: XC 65 f.

Au-delà de $d = 10$: XC 10 cémenté.

Traitée pour $HRc \geq 58$.

CANONS VISSÉS À CUVETTE



26 Extracteurs

Après l'usinage d'une pièce, il est quelquefois difficile de l'extraire de son logement.

Pour certains cas, on prévoit un dispositif mécanique permettant de sortir la pièce de la zone difficilement accessible ; pour d'autres cas, notamment les pièces suffisamment légères, un simple jet d'air comprimé peut être suffisant.

EXEMPLES :

Figure 1 :

Les dimensions ne permettent pas d'extraire manuellement la pièce. Une action sur le poussoir, monté libre en translation et en rotation, permet de sortir la pièce très facilement.

Pour une solution automatisée, il est facile de remplacer le poussoir par un petit vérin pneumatique.

Figure 2 :

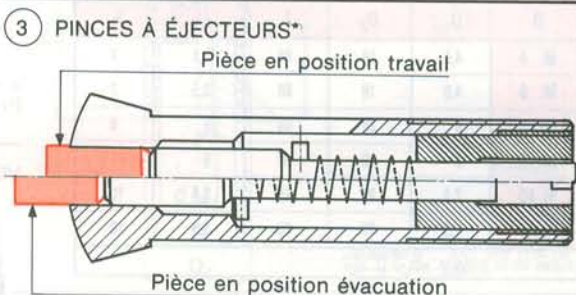
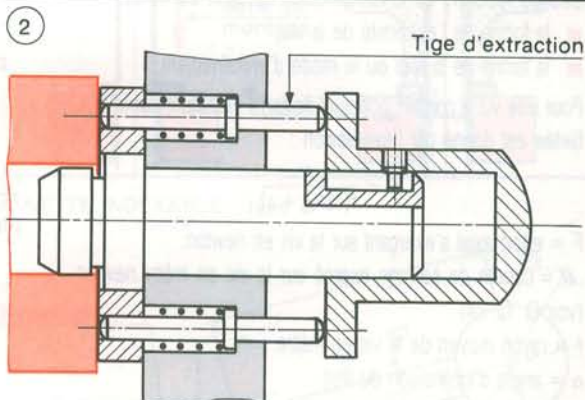
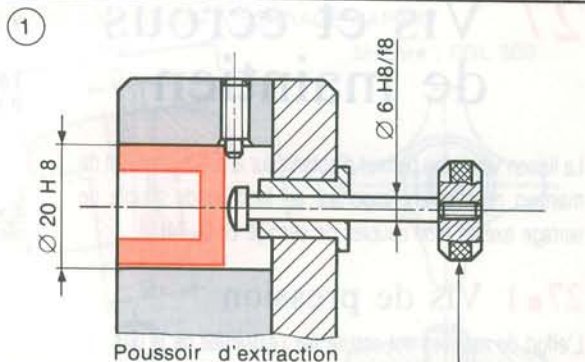
Afin d'éviter l'arc-boutement, l'action résultante des efforts d'extraction doit être supérieure et directement opposée à la résultante des efforts résistants. Pour respecter ce principe, il faut utiliser au moins deux tiges d'extraction.

Figure 3 :

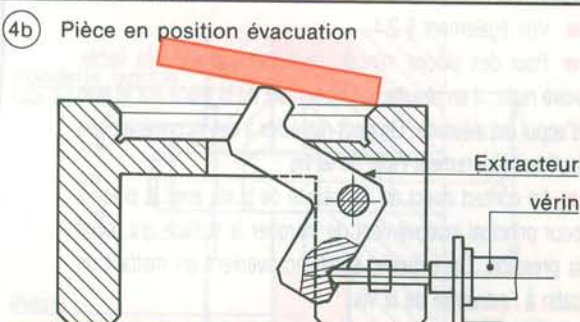
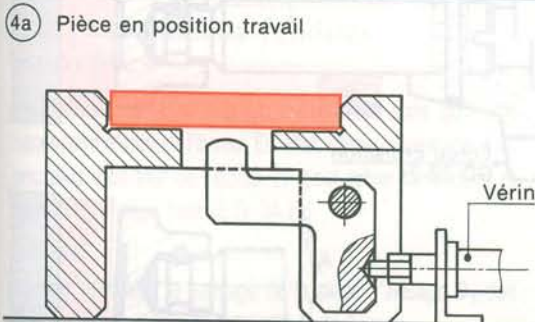
Les pinces à éjecteur se font dans la série des pinces W (§ 24.31). Elles permettent, après desserrage, pour des pièces dépassant peu de la pince une sortie de pièce suffisante pour une prise manuelle.

Figure 4 :

Pour ce montage, l'insuffisance de place en hauteur a nécessité l'utilisation d'un extracteur articulé. L'action de commande est exercée par un vérin pneumatique.



* Précis 92400 - Courbevoie.



27 Vis et écrous de maintien

La liaison vis-écrou permet d'obtenir sur la pièce un effort de maintien relativement important en fonction du couple de serrage exercé (voir couples de serrage G. D. 74).

27.1 Vis de pression

L'effort de maintien est assuré par l'extrémité de la vis.

Ces vis résultent de la combinaison de deux éléments.

- la forme de l'extrémité de la vis,
- la forme de la tête ou le mode d'entraînement.

Pour une vis à contact ponctuel l'effort $\vec{F}$ résultant sur la tige filetée est donné par l'expression :

$$F = \frac{M}{r(\tan \alpha + \varphi)}$$

F = effort axial s'exerçant sur la vis en newton.

M = couple de serrage exercé sur la vis en mètre.newton (voir G. D. 74).

r = rayon moyen de la vis en mètre.

α = angle d'inclinaison du filet.

φ = angle de frottement de la vis sur l'écrou.

D	D ₁	D ₂	L	L ₁	E
M 6	4,5	18	35	3,5	7
M 6	4,5	18	50	3,5	7
M 8	6	20	45	5	8
M 8	6	20	60	5	8
M 10	7,5	25	45	5,5	10
M 10	7,5	25	60	5,5	10

Autres vis de pression, voir G. D. 31.2.

REMARQUES :

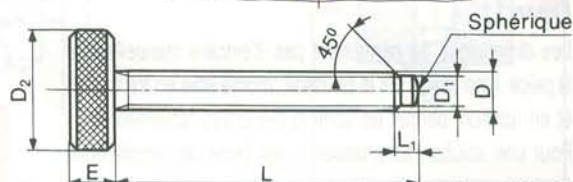
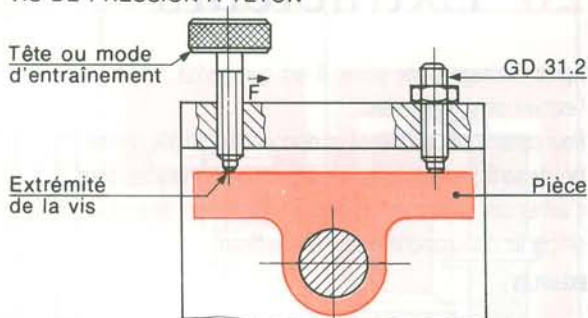
■ Voir également § 2.4.

■ Pour des pièces minces, la distance d est très faible, voire nulle ; il en résulte que le contact de la pièce sur le plan d'appui est aléatoire. On peut remédier à cet inconvénient en inclinant légèrement l'axe de la vis.

■ Le contact direct de l'extrémité de la vis avec la pièce a pour principal inconvénient de marquer la surface qui reçoit la pression. On remédie à cet inconvénient en mettant un patin à l'extrémité de la vis.

Les patins normalisés autorisent une légère inclinaison de l'axe du patin par rapport à l'axe de la vis (G. D. 31.3).

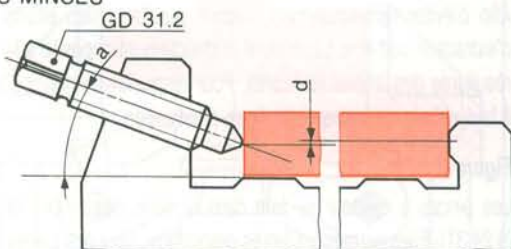
VIS DE PRESSION À TÉTON



Fabrication Nim

Matière : XC 35
R ≥ 900 MPa

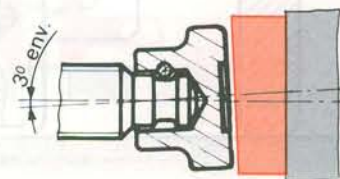
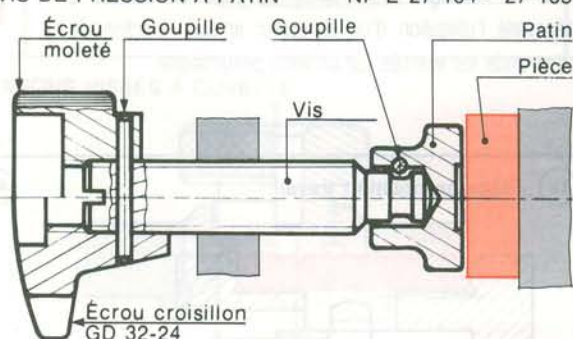
PIÈCES MINCES



$a_{\max}$ = angle d'adhérence
Pratiquement $a_{\max} \approx 10^\circ$

VIS DE PRESSION À PATIN

NF E 27-164 - 27-165



27.2 Écrous et boulons

Par rapport aux écrous et boulons d'assemblage, l'intérêt essentiel de la plupart de ces dispositifs est un serrage et un desserrage rapide.

27.21 Écrous croisillon à serrage rapide

Au montage l'écrou est incliné et la vis passe avec jeu dans le trou cylindrique lisse. Il est ainsi possible, par un simple coulisement, d'amener l'écrou en contact avec la surface à serrer. Le redressement de l'écrou engage les filets et le serrage est réduit à quelques tours.

D	D ₁	D ₂	D ₃	H	H ₁
M 6	15	30	7	20	12
M 8	18	40	9,3	25	14
M 10	21	50	11,3	30	16
M 12	26	60	13,1	35	19
M 14	30	70	15,6	40	22
M 16	34	80	17,6	45	25

Autres écrous, voir G. D. 32.2.

27.22 Manettes indexables

Ces manettes offrent l'avantage de permettre, après dégagement des dentelures, un **réglage angulaire** quelconque de la poignée par rapport à l'écrou.

d	T	D	D ₁	D ₂	d ₄	H	H ₁	A
M 8	23	17	24	25	10	4	40	75
M 10	26	20	28	30	11	5	46	92
M 12	26	20	28	30	11	5	46	92
M 14	30	24	33	32	12	5	52	111
M 16	30	24	33	32	12	5	52	111
M 18	35	30	41	35	14	6	61	126

Autres manettes, voir G. D. 32.4.

27.23 Rondelles fendues amovibles

Elles autorisent le démontage d'une pièce sans qu'il soit nécessaire d'enlever l'écrou. En effet, après desserrage d'un peu plus d'un tour de l'écrou, on peut retirer la rondelle et démonter la pièce (voir G. D. 34.13).

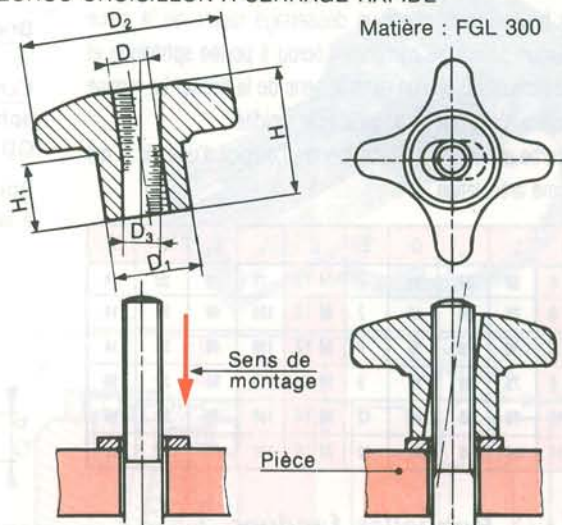
REMARQUE :

Afin de permettre le passage de la pièce, l'alésage D_1 doit être supérieur à la cote sur angle D de l'écrou.

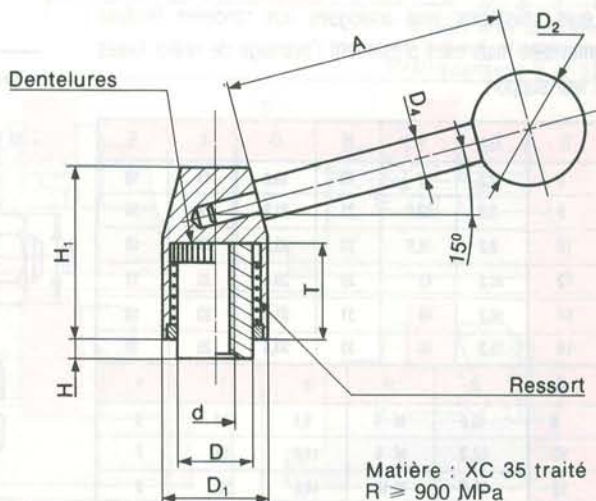
$D \approx 1,15 a$; a = cote sur plats de l'écrou.

ÉCROU CROISILLON À SERRAGE RAPIDE*

Matière : FGL 300

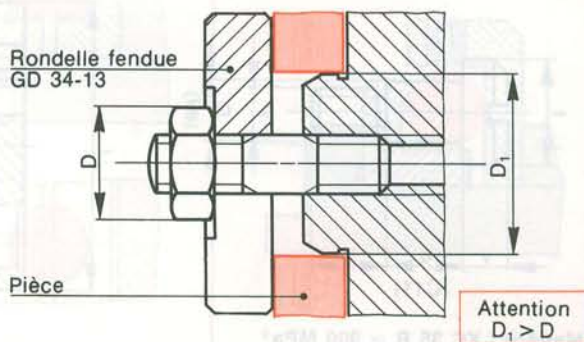


MANETTE INDEXABLE type B*



RONDELLE FENDUE AMOVIBLE

NF E 27-616



* Fabrication : Nlm.

27.24 Boulons à œil

Ces boulons permettent un desserrage rapide de la pièce après un dévissage partiel de l'écrou à portée sphérique et basculement du boulon dans le sens de la flèche. La remise en place s'effectue avec autant de rapidité.

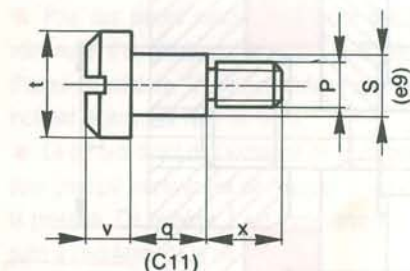
La partie droite de la figure montre l'emploi d'une vis à œil comme articulation.

d	L	L ₁	D	E	d	L	L ₁	D	E
M 6	50	24	14	7	M 12	75	49	25	14
M 6	75	24	14	7	M 12	120	49	25	14
M 8	50	28	18	9	M 12	130	49	25	14
M 8	75	28	18	9	M 14	175	50	28	16
M 10	75	45	20	12	M 14	130	70	28	16
M 10	100	45	20	12	M 16	130	57	32	17

27.25 Rondelles fendues pivotantes

Leurs utilisations sont analogues aux rondelles fendues amovibles mais elles présentent l'avantage de rester fixées à leur support.

D	D ₁	A	H	G	I	E
6	8,2	29	19	19,6	11	10
8	8,2	32,5	21	21,6	14	10
10	8,2	36,5	23	23,6	17	10
12	10,2	45	29	29,6	22	12
14	10,2	49	31	31,6	23	12
16	10,2	50	33	33,6	25	12
S	q	p	x	t	v	
8	10,2	M 6	9,8	14	6	
10	12,2	M 8	11,8	18	7	
12	14,2	M 10	14,8	22	9	

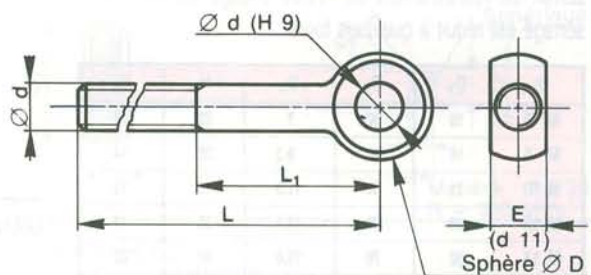
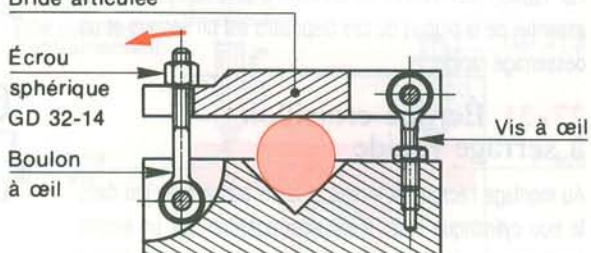


Matière : XC 35 R $\geq$ 900 MPa*

* 1 MPa = 1 N/mm².

BOULON À ŒIL

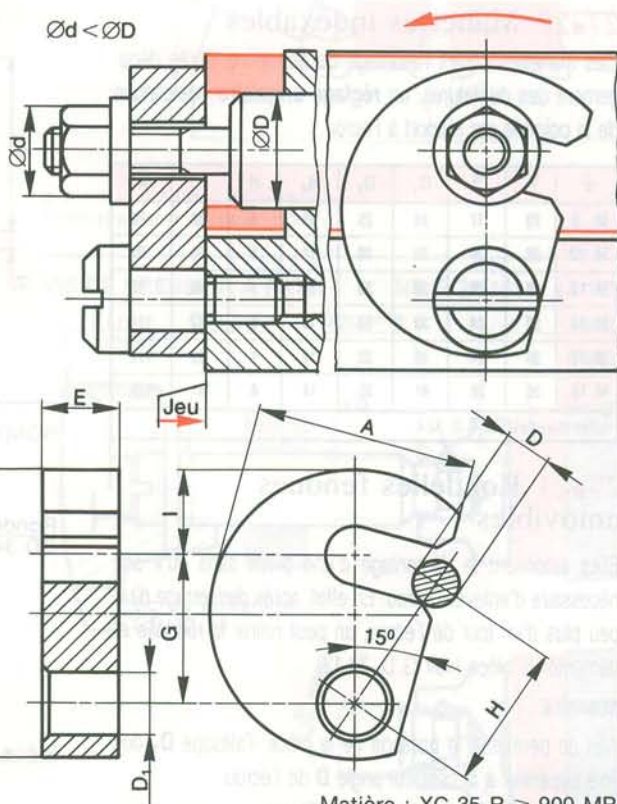
Bride articulée



XC 35 traité R $\geq$ 900 MPa*

RONDELLE FENDUE PIVOTANTE

$\varnothing d < \varnothing D$



Matière : XC 35 R $\geq$ 900 MPa*

Fabrication : Nlm.

28 Étaux

Les étaux sont un moyen usuel de prises de pièces. On distingue les étaux à commande manuelle, à commande hydraulique et à commande oléopneumatique.

Il faut veiller, en fonction de la précision exigée, à ce qu'au moment du serrage l'action des mors conserve la mise en position initiale de la pièce.

EXEMPLES DE MORS SPÉCIAUX :

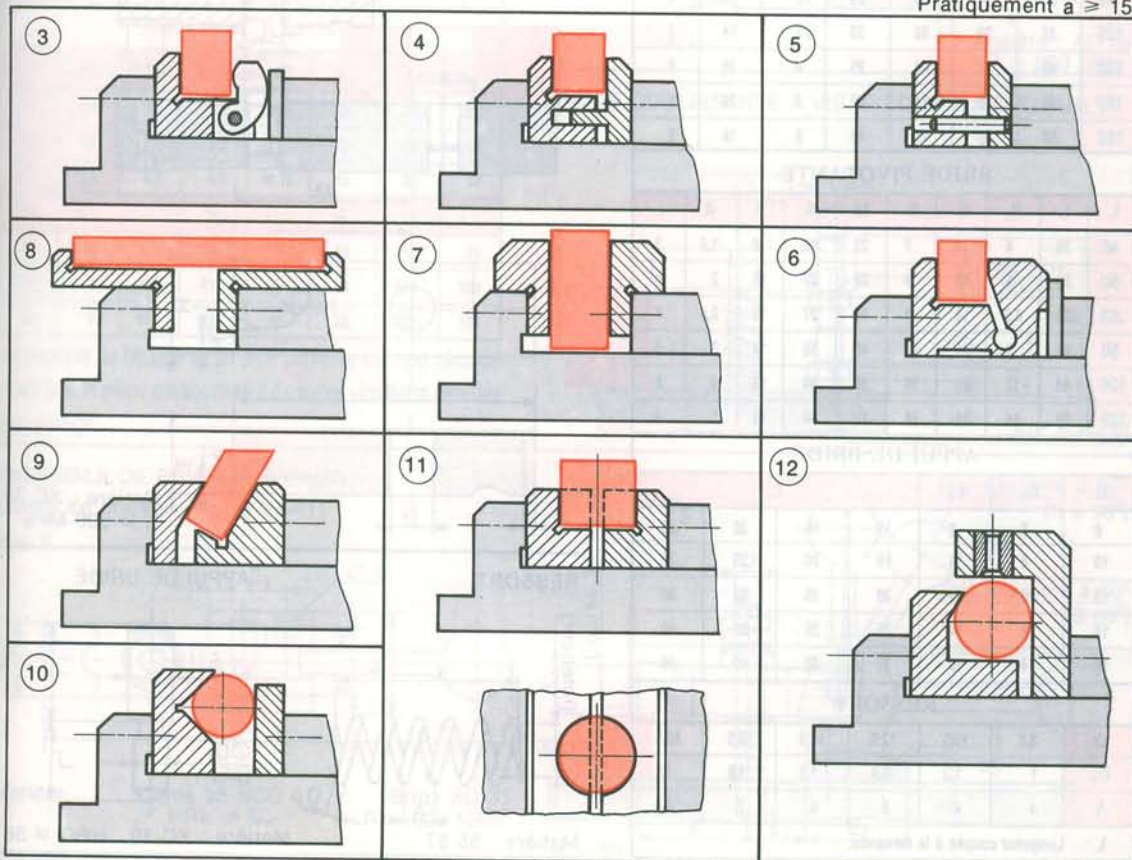
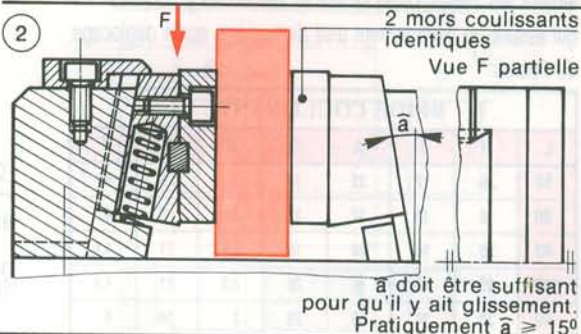
Figures 2 à 6 : Le mors mobile à tendance à soulever la pièce de son appui, on remédie à cet inconvénient en concevant des mors spéciaux en fonction des conditions de fabrication et des tolérances à respecter.

Figures 7 et 8 : Augmentation de la capacité de serrage en longueur et en hauteur.

Figure 9 : La poussée du mors mobile doit appliquer la pièce sur ses appuis.

Figures 10 à 12 : Prises de pièces cylindriques.

① ÉTAU À MORS PLAQUEURS



29 Brides*

Les brides sont des dispositifs de maintien très utilisés. Comme pour un levier simple, on distingue :

- les brides inter-effort,
- les brides inter-appui,
- les brides inter-serrage.

29.1 Brides inter-effort

Dans les brides droites standardisées, on distingue essentiellement les brides coulissantes et les brides pivotantes ; ce qui assure un dégagement aisé de la pièce après déblocage de l'écrou.

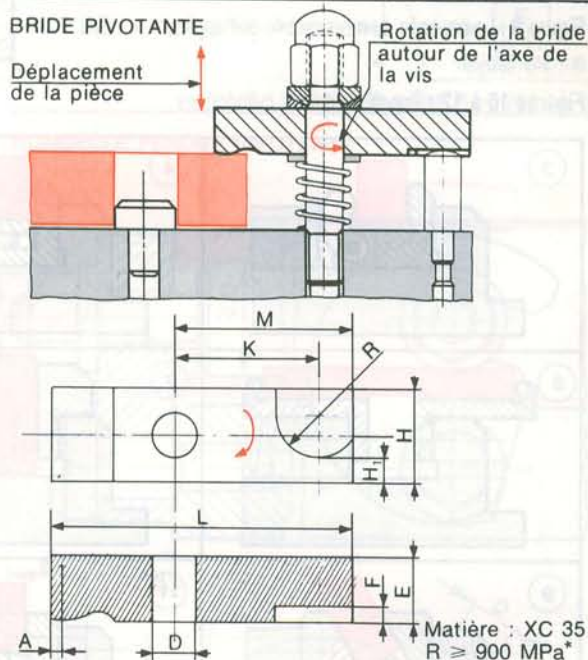
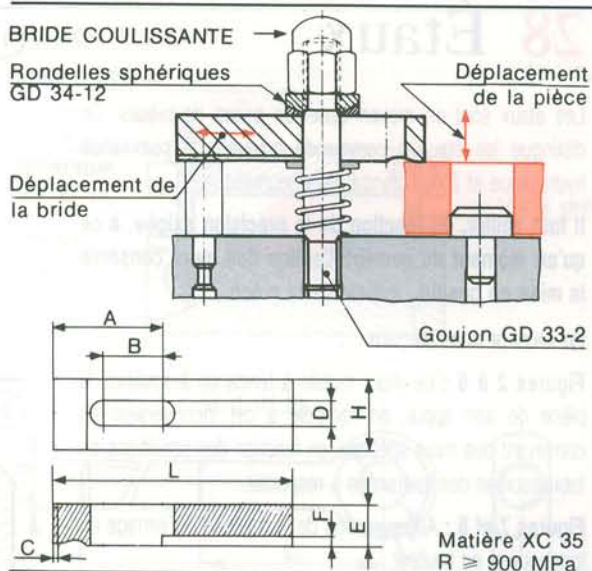
BRIDE COULISSANTE							
L	H	E	A	B	C	D	F
50	20	12	22	12	2	9	4
80	20	12	37	21	2	9	4
63	25	16	28	16	2,5	11	4,5
100	25	16	46	26	2,5	11	4,5
80	32	20	35	20	3	14	5
125	32	20	58	33	3	14	5
100	40	25	44	25	4	16	6
160	40	30	74	42	4	16	6
160	50	30	73	42	5	18	6

BRIDE PIVOTANTE									
L	H	H ₁	E	D	M	K	R	A	F
40	16	4	10	7	23	18	8	1,6	3
50	20	5	12	9	28	22	10	2	4
63	25	6,5	16	11	35	27	12	2,5	4
80	32	9	20	14	45	35	14	3	5
100	40	12	25	16	56	44	16	4	6
125	50	16	30	18	70	54	18	5	6

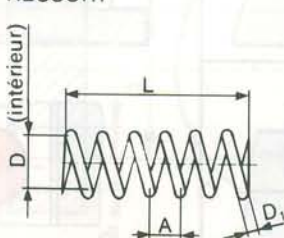
APPUI DE BRIDE						
D	D ₁	L ₁	L			
8	6	8	12	16	20	25
10	8	10	16	20	25	32
12	10	12	20	25	32	40
14	12	14	25	25	32	40
16	14	16	25	32	40	50

RESSORT						
D	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5
D ₁	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8
A	4	4	5	6	7	7

L Longueur coupée à la demande.

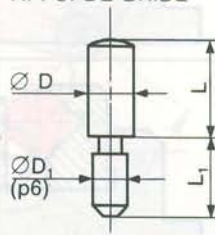


RESSORT



Matière : 55 S7

APPUI DE BRIDE



Matière : XC 10 HRC ≥ 58

Fabrication Nlm

* Voir également chapitres 32-33-34.

29.2 Brides inter-appui

Dans les brides droites standardisées, on distingue essentiellement les brides coulissantes à vis et les brides coulissantes à came.

Les brides coulissantes à vis peuvent, avec un appui réglable, être transformées en brides inter-effort.

BRIDE COULISSANTE A VIS

L	A	A ₁	B	C	D	E	H
50	22	1,6	12	23	7	10	16
63	28	2	16	29	9	12	20
80	36	2,5	20	36	11	16	25
100	45	3	25	45	14	20	32
125	57	4	32	56	16	25	40
160	72	5	40	72	18	30	50

APPUI RÉGLABLE

D	E	F	G	L	L ₁	D	E	F	G	L	L ₁
M 6	10	5	5	50	18	M 12	19	6	8	70	30
M 8	13	5	5	50	18	M 14	22	8	12	100	37
M 10	17	5	7	52	20	M 16	24	8	12	100	37

BRIDAGE A CAME

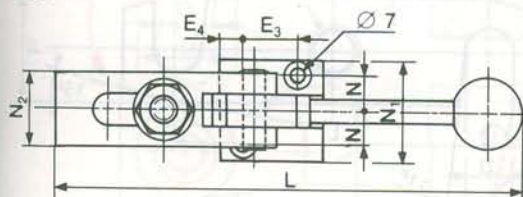
H min	H max	S 90°	S 60°	D	E	E ₁	E ₂
21	29	5	2,8	M 8	28	20	28
24	29	6,5	3,5	M 10	36	27	32
28	37	8,5	4,5	M 12	45	36	37
E ₃	E ₄	N	N ₁	N ₂	A	L	L ₁
14	7	12	38	25	16	148	80
16	8	13,5	41	32	20	186	100
19	9	14,5	43	40	25	229	125

L'ensemble de bridage à came ne présente pas une sécurité absolue si la pièce est soumise à de fortes vibrations pendant son usinage.

ENSEMBLE DE BRIDAGE À CAME

Cames de bridage (Voir § 31-41)

Vue F



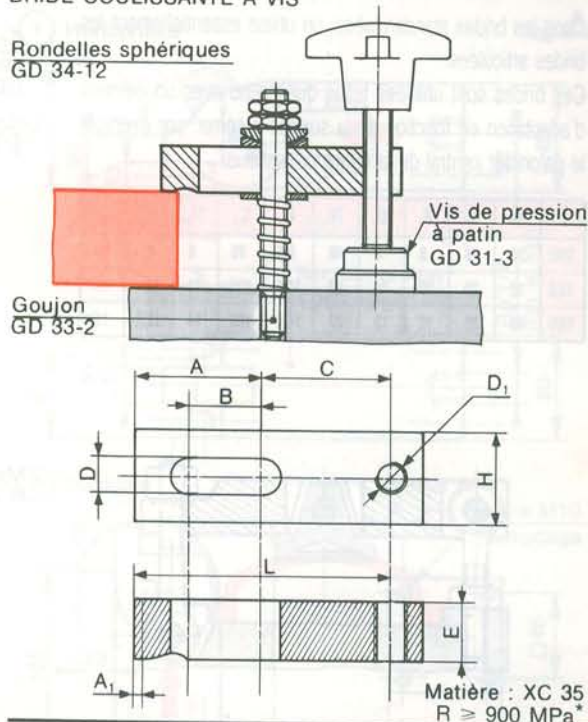
Matière : Came 35 NCD 6
HRc ≥ 50

Bride XC 35
R ≥ 900 MPa*

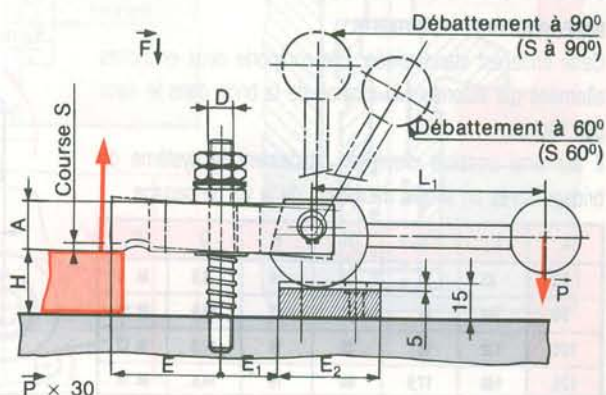
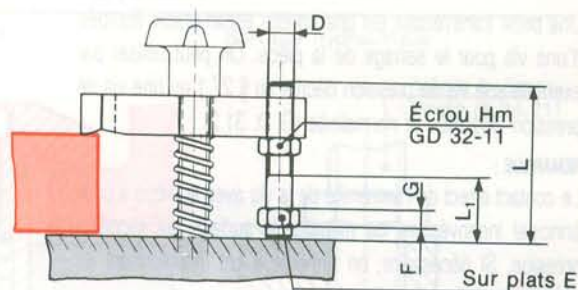
* 1 MPa = 1 N/mm².

BRIDE COULISSANTE À VIS

Rondelles sphériques
GD 34-12



BRIDE COULISSANTE À VIS AVEC APPUI RÉGLABLE

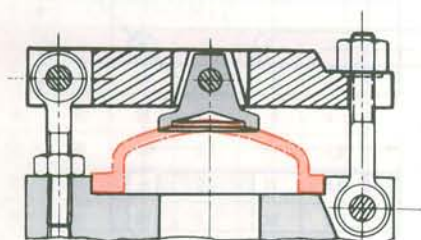


29.3 Brides inter-serrage

Dans les brides standardisées, on utilise essentiellement les brides articulées.

Ces brides sont utilisées telles quelles ou avec un élément d'adaptation en fonction de la surface à serrer, par exemple le palonnier central de la figure ci-dessous.

L	H	E	K	D	N	P	L ₁	D ₁	H ₁	J
100	25	16	8	8	19	9,5	85	9	8	10
125	32	20	10	10	22	12,5	105	11	10	14
160	40	25	12	12	27	14,5	138	14	12,5	15

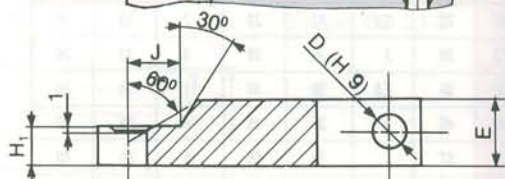


BRIDE ARTICULÉE

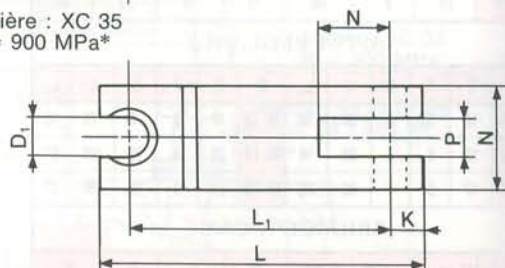
Écrou sphérique
GD 32-14

Boulon à œil
§ 27-4

Vis à œil



Matière : XC 35
R ≥ 900 MPa*



29.4 Brides transversales

Une bride transversale est une barette escamotable équipée d'une vis pour le serrage de la pièce. On peut utiliser par exemple une vis de pression décrite au § 27.1 ou une vis de pression classique et normalisée (G. D. 31.2).

REMARQUE :

Le contact direct de l'extrémité de la vis avec la pièce a pour principal inconvénient de marquer la surface qui reçoit la pression. Si nécessaire, on remédie à cet inconvénient en mettant un patin à l'extrémité de la vis.

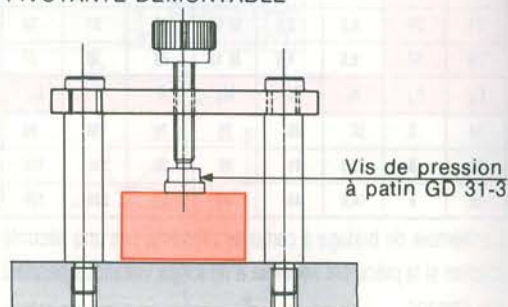
BRIDES PIVOTANTES DÉMONTABLES :

Cette bride est standardisée. Elle comporte deux encoches alternées qui autorisent la rotation de la bride dans le sens des flèches.

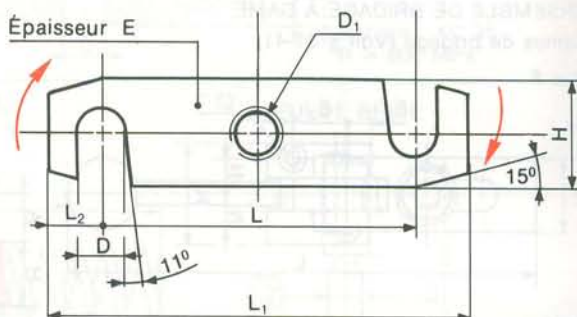
Il est ainsi possible d'enlever rapidement le système de bridage après un simple déblocage de la vis de serrage.

L	L ₁	L ₂	H	E	D	D ₁
63	83	10	20	10	8,5	M 8
80	106	13	25	12	10,5	M 10
100	132	16	32	14	12,5	M 12
125	160	17,5	40	16	14,5	M 14

BRIDE PIVOTANTE DÉMONTABLE



Vis de pression
à patin GD 31-3



Matière : XC 35
R ≥ 900 MPa*

* 1 MPa = 1 N/mm².

30 Brides pivotantes

Pivoter et serrer sont les caractéristiques principales de ces types de brides.

Elles présentent l'avantage de dégager entièrement l'espace d'implantation de la pièce au chargement et au déchargement.

30.1 Brides escamotables

Elles offrent rapidité et rigidité du serrage.

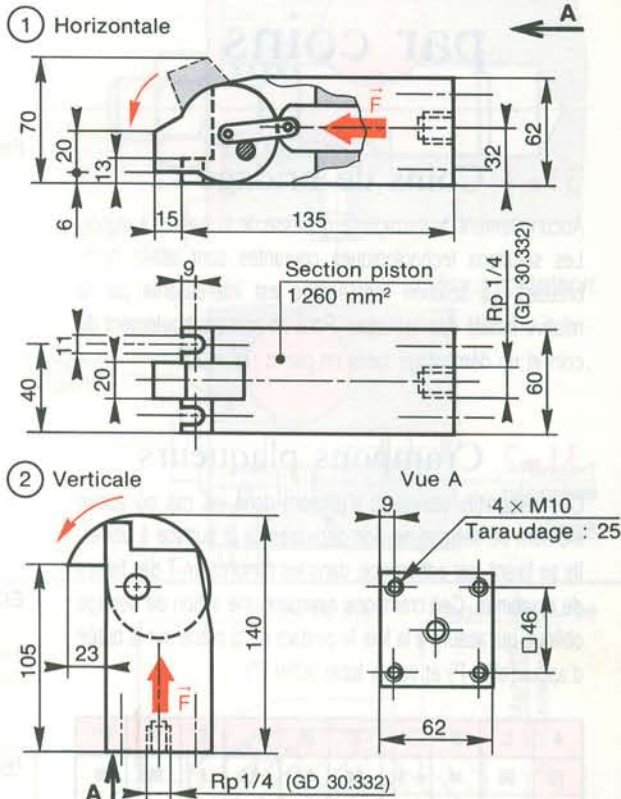
Force maximale : 50 kN.

30.2 Crochets

Les crochets sont des brides pivotantes de faible encombrement. A ce titre, elles sont très intéressantes pour de nombreux montages.

D	H	E	C	R	D ₁	D ₂	D ₃	A	H ₁
16	32	10	5	20	6,5	11	10	36	20
20	40	12	6	25	8,5	14	12	44	25
25	50	16	8	32	10,5	17	14	56	32
32	63	20	10	40	12,5	20	17	71	40

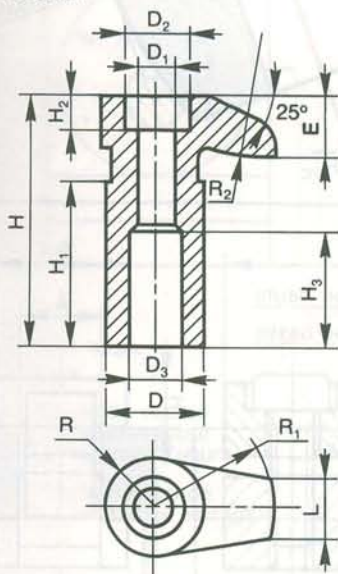
BRIDE ESCAMOTABLE (commande hydraulique)



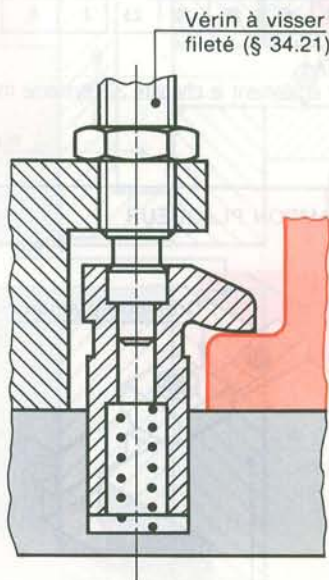
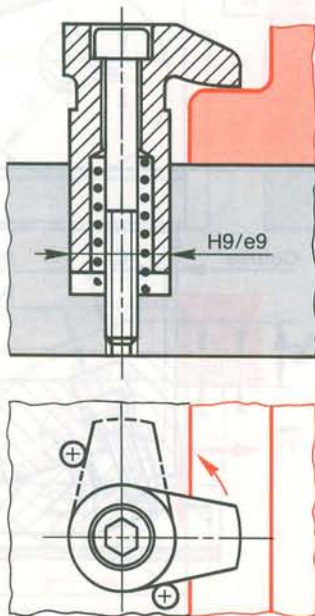
CROCHET

Serrage manuel

Serrage hydraulique



XC 35 $R \geq 90 \text{ MPa}$



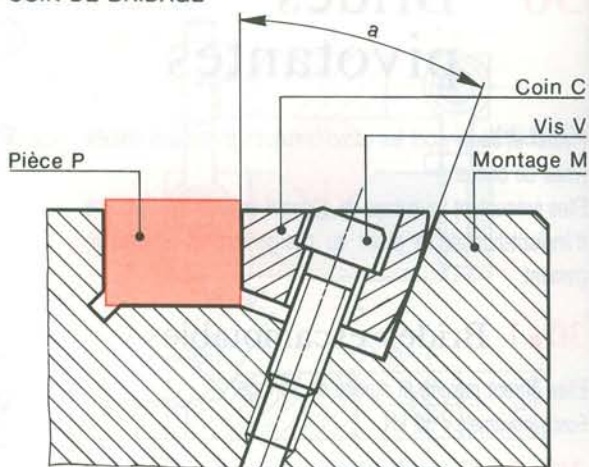
* 1 MPa = 1 N/mm².

31 Maintien par coins

31.1 Coins de bridage

Aucun élément de serrage ne dépasse de la surface à usiner. Les solutions technologiques courantes sont assez nombreuses. La solution représentée est intéressante par la relative facilité des usinages. Pour un non arc-boutement du coin et un démontage facile on prend : $\widehat{a} \geq 20^\circ$.

COIN DE BRIDAGE



31.2 Crampons plaqueurs

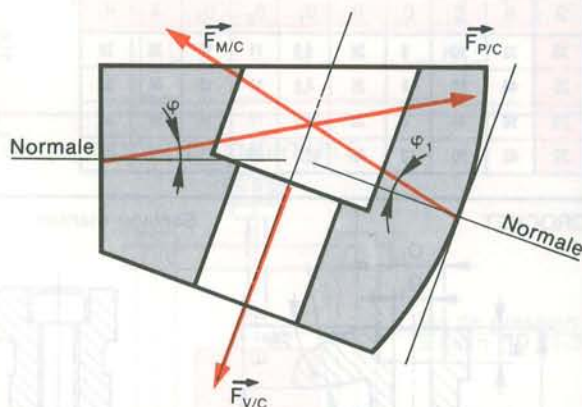
Ces dispositifs standards s'utilisent dans les cas où aucun élément de serrage ne doit dépasser de la surface à usiner. Ils se fixent, par adhérence, dans les rainures en T des tables de machines. Ces crampons exercent une action de serrage oblique qui assure à la fois le contact de la pièce sur la butée d'appui (effet P) et sur la table (effet P').

A	L	B	H	C	H ₁	H ₂	E	P*	P''
12	50	18	8	1,8	3,5	8,5	5	350	40
14	53	22	8	1,8	2,5	7,5	5	350	40
16	64	25	10	2,5	4	11	6	750	80
18	67	28	10	2,5	2	9,	6	750	80

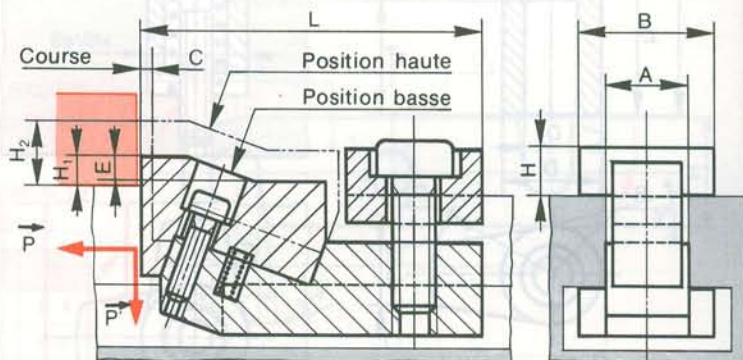
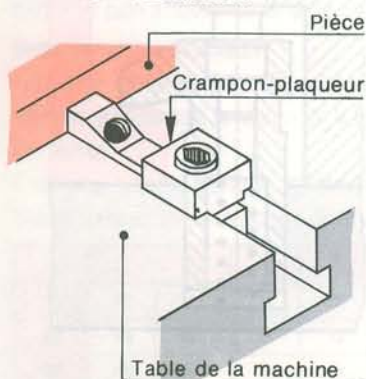
NOTA :

Voir également le chapitre 32 (système modulaire).

ÉQUILIBRE DU COIN



CRAMPON PLAQUEUR



Fabrication : Nlm

Traité pour HRc ≥ 58

* Exprimé en décanewtons.

31.3 Tampons tangents

Le serrage des pièces cylindriques par tampons tangents est relativement simple. Afin de ne pas gêner la mise en position de la pièce, les tampons ne doivent ni tourner, ni coulisser quand la pièce est retirée.

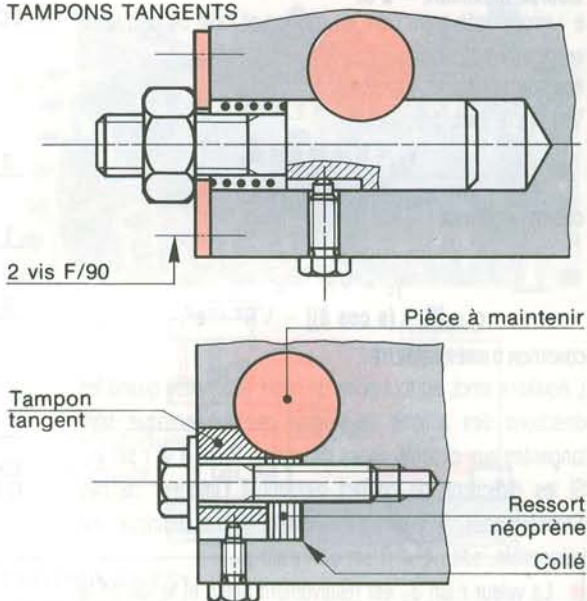
31.4 Excentriques

Un excentrique est un disque cylindrique excentré par rapport à son axe de rotation.

L'étude se limite aux excentriques utilisés dans les dispositifs de serrage.

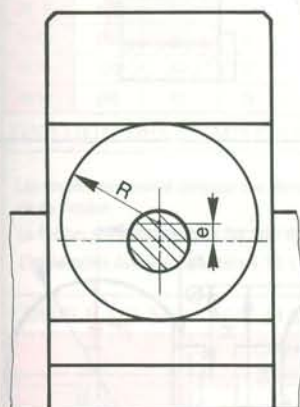
Les excentriques sont des dispositifs de serrages rapides. Ils sont multiplicateurs d'efforts mais ils présentent l'inconvénient d'avoir des courses relativement faibles.

TAMPONS TANGENTS

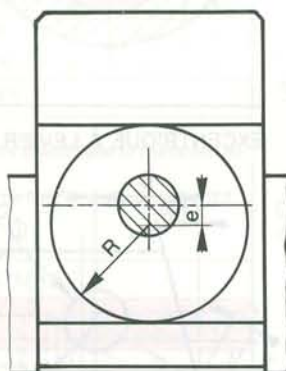


EXCENTRIQUE ARBRE

Position haute



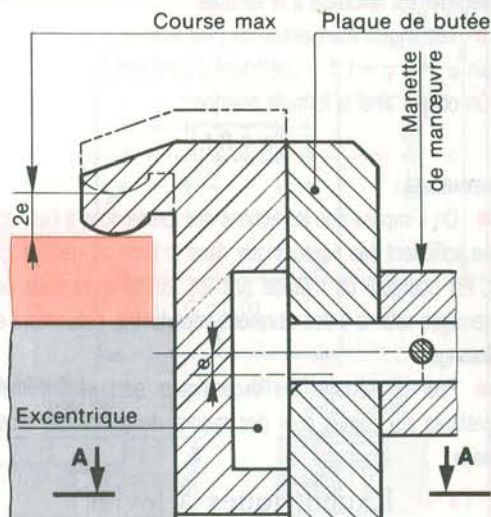
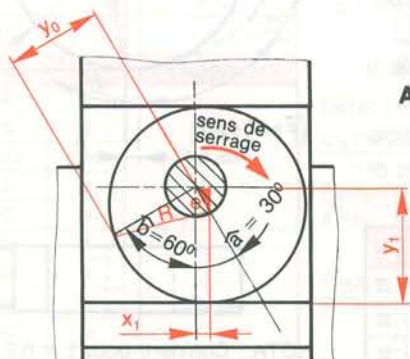
Position basse
(Plaque de butée enlevée)



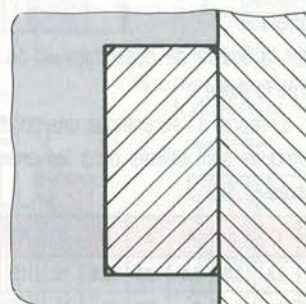
Position basse
pratique

$\hat{a}$ = angle de course
de réserve (pour
compenser l'usure)

$\hat{b}$ = angle normal de
la course de serrage



A-A



Course maximale = 2 e.

e : excentricité entre l'axe de rotation et l'axe du disque de serrage.

POSITION DE L'AXE DE ROTATION :

Voir figure page précédente.

$$y_1 = R + (e \cos \hat{a}).$$

$$x_1 = e \sin \hat{a}.$$

COURSE DE TRAVAIL :

$$c = y_1 - y_0.$$

$$y_0 = \sqrt{R^2 - e^2}.$$

$$c = [R + (e \cos \hat{a})] - \sqrt{R^2 - e^2}.$$

CONDITION D'IRRÉVERSIBILITÉ :

L'équilibre strict, en tout point du profil, est réalisé quand les directions des actions de contact sur l'excentrique sont tangentes aux circonférences de rayons $R \sin \varphi$ et $r \sin \varphi_1$. Si les directions de contact passent à l'intérieur de ces circonférences, il y a arc-boutement et l'excentrique est irréversible, soit : $e \leq R \sin \varphi + r \sin \varphi_1$.

■ La valeur $r \sin \varphi_1$ est relativement petite et le fait de la négliger est favorable à la sécurité.

■ Les angles étant petits, on peut estimer : $\sin \varphi \approx \tan \varphi \approx f$ (f = coefficient d'adhérence).

On obtient ainsi la formule pratique :

$$e \leq R f.$$

REMARQUES :

■ On s'impose que les actions des forces dues à l'usinage ne sollicitent pas l'excentrique dans le sens du desserrage. C'est pourquoi on n'utilise pas les excentriques pour des serrages soumis à des vibrations importantes, notamment en fraisage.

■ Pour un serrage, les excentriques sont généralement préférés aux cames pour des raisons de commodité d'usinage.

31.41 Excentriques à levier

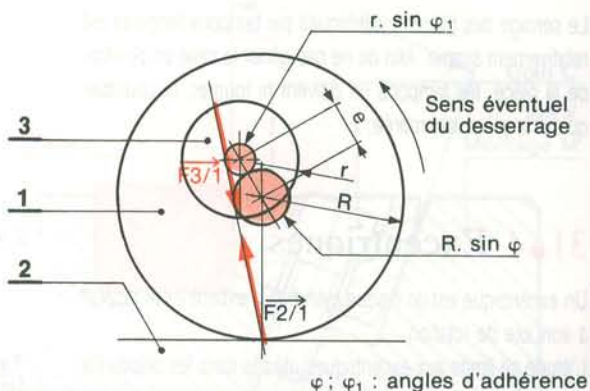
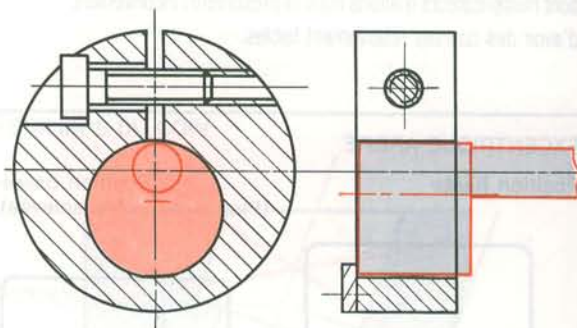
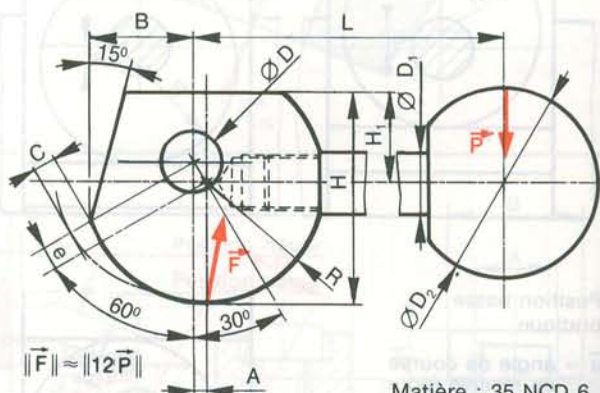
Ces excentriques standards ont une partie du disque coupée. Il est ainsi possible :

■ d'augmenter la course de desserrage et de faciliter la mise en place de la pièce,

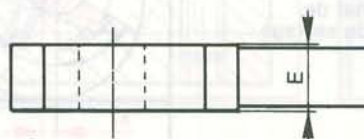
■ de donner, au repos, à l'excentrique une position stable.

■ Ces excentriques sont utilisés dans les ensembles de bridage étudiés au § 29.2.

D	E	R	C	e	A	L	B	H	H1	D1	D2
8	9	16	2,8	3,2	1,6	80	13,5	28	12	8	25
10	12	20	3,5	4	2	100	17	35	15	10	32
12	14	26	4,5	5,2	2,6	125	22	44	18	10	32

ÉQUILIBRE D'UN EXCENTRIQUE**EXEMPLE DE MONTAGE DE TOURNAGE D'EXCENTRIQUE****EXCENTRIQUE À LEVIER**

Matière : 35 NCD 6
sur profil HRC ≥ 50 .



NOTA : Convient pour $f \geq 0,2$

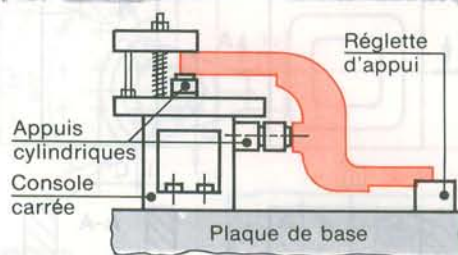
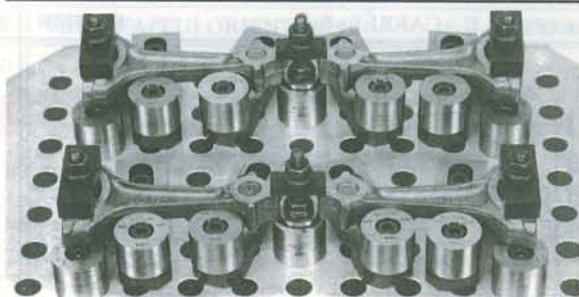
Fabrication : Nim

32 Système modulaire

Le système modulaire est prévu pour permettre de réaliser un grand nombre de prises de pièces avec un simple assemblage de composants standard. Par rapport à la plaque de base, les composants sont positionnés suivant un système de coordonnées rectangulaires matérialisé par une trame d'alésages équidistants en X, Y et Z.

REMARQUE :

Ce système est compatible avec les autres éléments standards (brides, palonniers, poussoirs, cames...).



PRINCIPAUX COMPOSANTS*

PLAQUE								NF E 62-334
d	A	C	D	E	J	L	P	
M 6	250	25	12	35	35	25	4	
M 6	315	25	12	40	40	32,5	4	
M 6	400	25	12	45	45	25	4	
M 10	315	40	18	40	40	37,5	6	
M 10	400	40	18	45	45	40	6	
M 10	500	40	18	50	50	50	6	

FIXATION DES COMPOSANTS

Les douilles assurent le centrage des éléments et déchargent au cisaillement les vis de fixation.

La fixation des composants se fait avec des vis CHC de classe de qualité 12.9.

L'implantation doit être supérieure à 1,5 d.

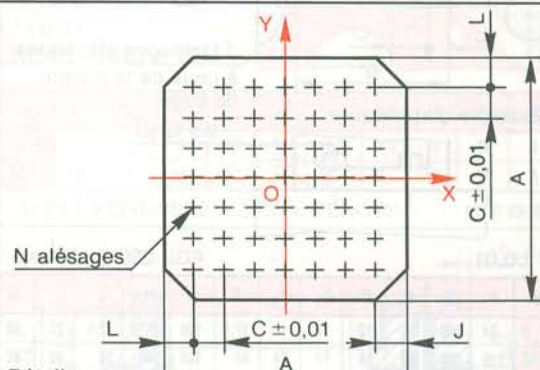
COUPLE DE SERRAGE MAXIMAL

Vis Ø d	Couple (N. m)	Force de retenue (kN) Implantation = 2d
M 6	8	13
M 10	30	36

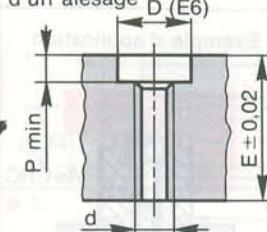
DOUILLE À COLLERETTE

NF E 62-331

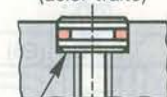
D	D ₁	D ₂	H	H ₁	Section cisailée
12	6,5	15	10	7	74,6 mm ²
12	6,5	15	16	13	
12	6,5	15	19,5	16,5	
12	6,5	15	25	22	
12	6,5	15	32	29	
18	10,5	22	15	11	159,4 mm ²
18	10,5	22	20	16	
18	10,5	22	30	25	
18	10,5	22	34	30	
18	10,5	22	42	38	



Détail d'un alésage

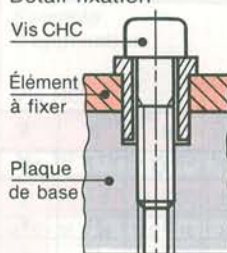


Bouchon de plaque (acier traité)

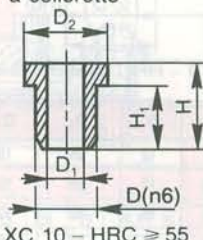


Démontage avec un aimant
FGL 250 stabilisée

Détail fixation



Douille de centrage à collerette



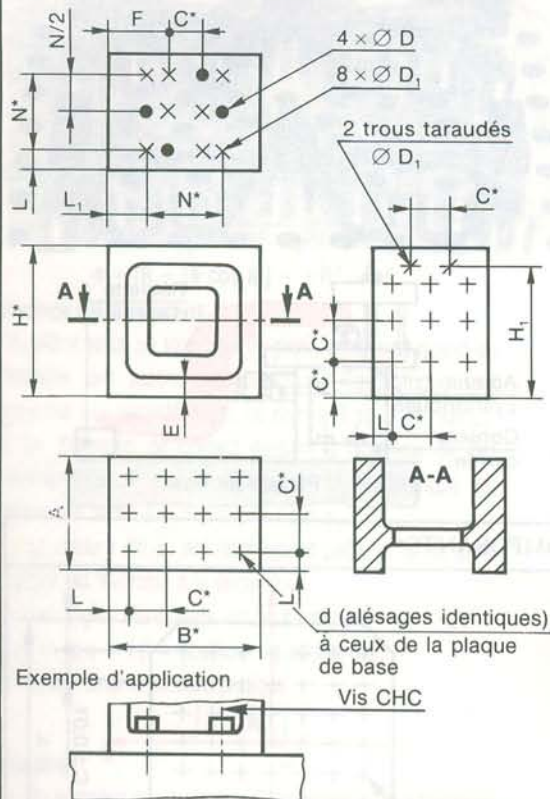
XC 10 - HRC ≥ 55

* Fabrication : Norelem. 91300-Massy.

Autres fabrications : *Posilok - DOGA. 78311 Maurepas Cedex...

CONSOLE «CARRÉE»*

NF E 62-334



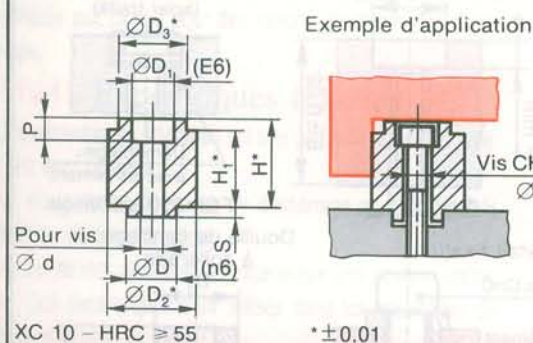
*±0,01

FGL 250 Stabilisée

d	A	B	C	D	D ₁	E ₁	F	H	H ₁	L	L ₁	N
M 6	74	100	25	12	7	18	37,5	100	87,5	12,5	25	50
M 10	119	160	40	18	11	24	60	160	140	20	40	80

APPUI CYLINDRIQUE FIXE*

NF E 62-332



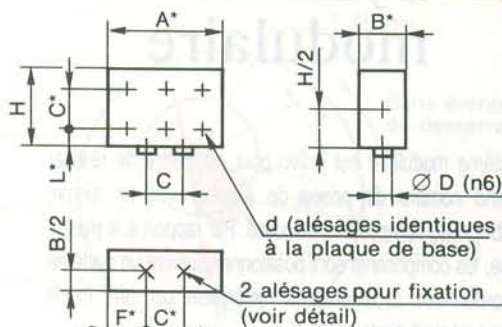
XC 10 - HRC ≥ 55

*±0,01

d	D ₁	D ₂	D ₃	H	H ₁	P	S
M 6	12	25	19	12,5	9,5	7	4
M 6	12	25	19	25	22	7	4
M 10	18	40	30	20	15	11	6
M 10	18	40	30	40	35	11	6

SUPPORT 4 FACES*

NF E 62-332



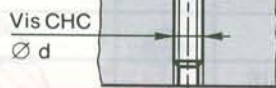
Détail de la fixation :

- pour console support,
- pour réglette d'appui.

Douille de centrage

*±0,01

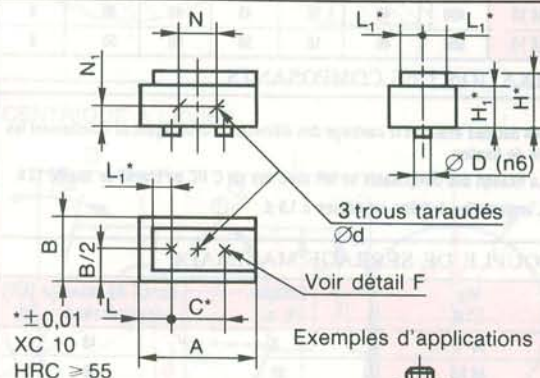
XC 10 - HRC ≥ 55



d	A	B	C	D	F	H	L
M 6	75	25	25	12	25	50	12,5
M 10	120	40	40	18	40	80	20

RÉGLETTE D'APPUI FIXE*

NF E 62-332

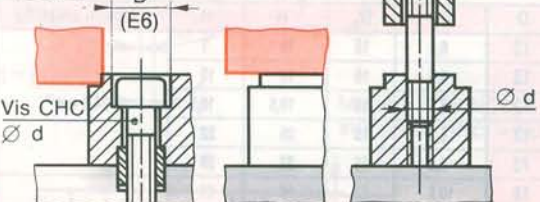


*±0,01

XC 10

HRC ≥ 55

Détail F

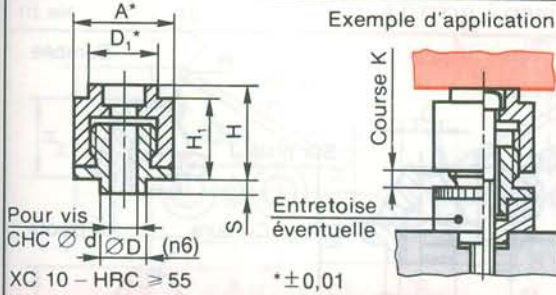


d	A	B	C	D	H	H ₁	L	L ₁	N	N ₁
M 6	49	25	25	12	25	22	12,5	9	10	12,5
M 10	79	40	40	18	40	35	20	15	18	20

* Éléments empilables et juxtaposables.

SUPPORT D'APPUI RÉGLABLE

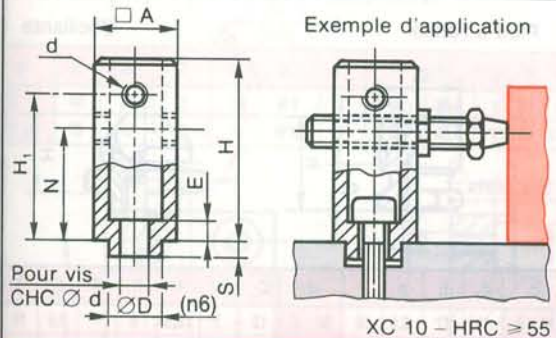
NF E 62-332



d	A	D	D ₁	H	H ₁	K	S
M 6	25	12	19	22	19	5,5	4
M 10	40	18	30	35	30	6,5	6

SUPPORT BUTÉE POSITION

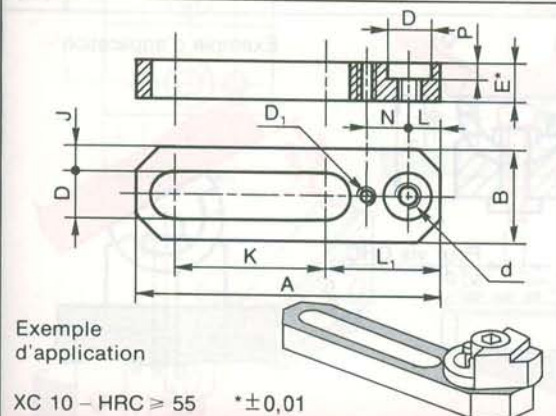
NF E 62-335



d	A	D	E	H	H ₁	N	S
M 6	20	12	3	40	32	25	4
M 10	30	18	5	65	52	40	6

SUPPORT UNIVERSEL

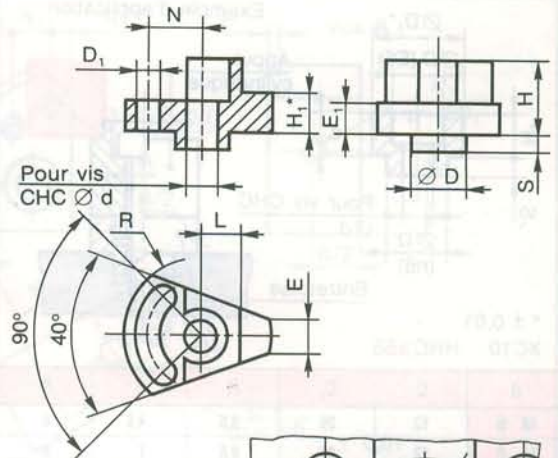
NF E 62-332



d	A	B	D	D ₁	E	J	K	L	L ₁	N	P
M 6	64	24	12,2	M4	12,5	6	25	8	31	10	4
M 6	89	24	12,2	M4	12,5	6	50	8	31	10	4
M 10	100	39	18,2	M6	20	10	40	12	45	16	6
M 10	140	39	18,2	M6	20	10	80	12	45	16	6

TÊTE D'APPUI ORIENTABLE

NF E 62-332



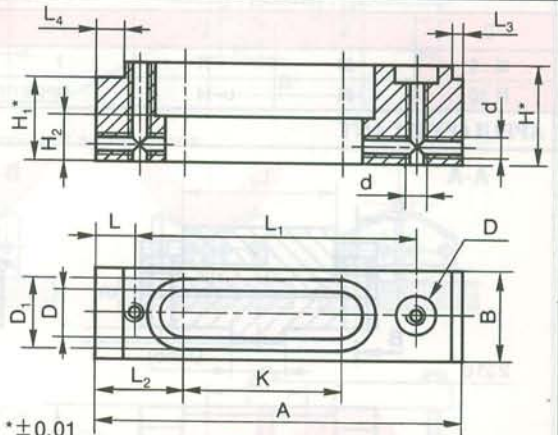
Exemple d'application

* $\pm 0,01$
XC 10 - HRC ≥ 55

d	D	D ₁	E	E ₁	H	H ₁	L	N	R	S
M 6	12	5	7	5,5	15	9,5	7,5	10	15	4
M 10	18	7	10	10	23	15	13	16	24	6

APPUI RÉGLABLE À DEUX PAGES

NF E 62-332



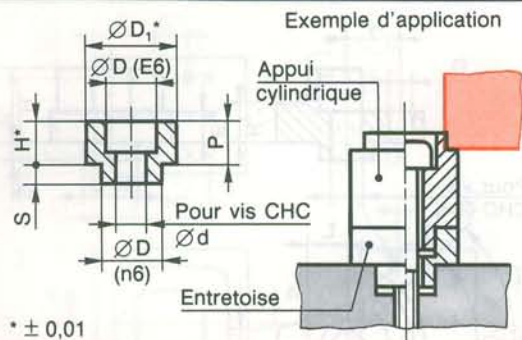
* $\pm 0,01$
Exemple d'application

Vis HC
antiglissement

d	A	B	D	D ₁	H	H ₁	H ₂	K	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
M 6	95	24	12,2	16	25	22	13	38	12	70,5	26	3,5	7
M 10	152	39	18,2	24	40	35	20	64	18	114	38	5	11

ENTRETOISE

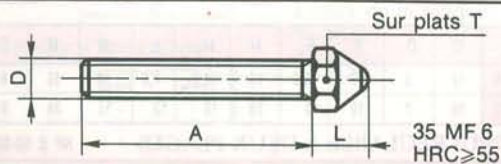
NF E 62-332



d	D	D ₁	H	P	S
M 6	12	25	5,5	4,5	4
M 6	12	25	9,5	7	4
M 6	12	25	12,5	7	4
M 10	18	40	8	6,5	6
M 10	18	40	15	11	6
M 10	18	40	20	11	6

BUTÉE SPHÉRIQUE

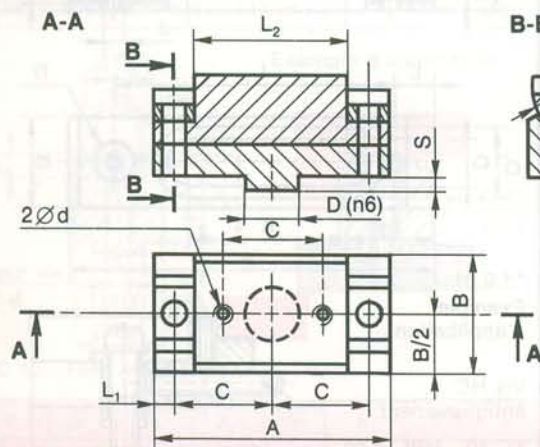
Nlm 216



D	A	L	T
M 6	50	11	7
M 10	65	14	11

APPUÏ OSCILLANT

NF E 62-332



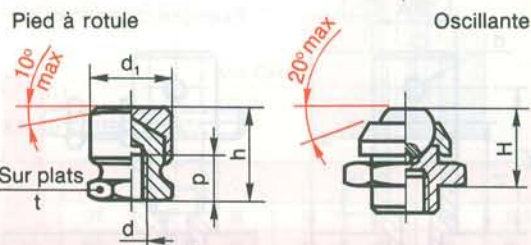
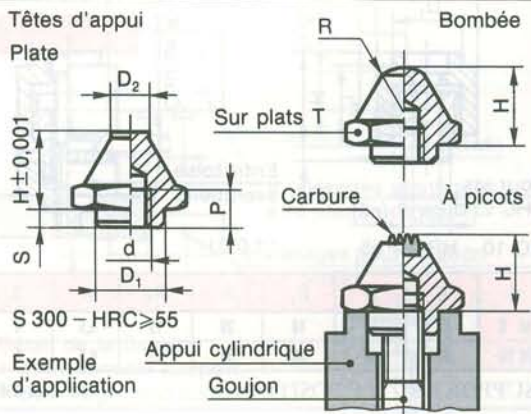
d	D	A	B	C	D ₁	H	L ₁	L ₂	S
M 6	12	62	30	25	30	27	6	40	4
M 10	18	100	48	40	48	44	10	62	6

TÊTE D'APPUÏ

NF E 62-335

PIED À ROTULE

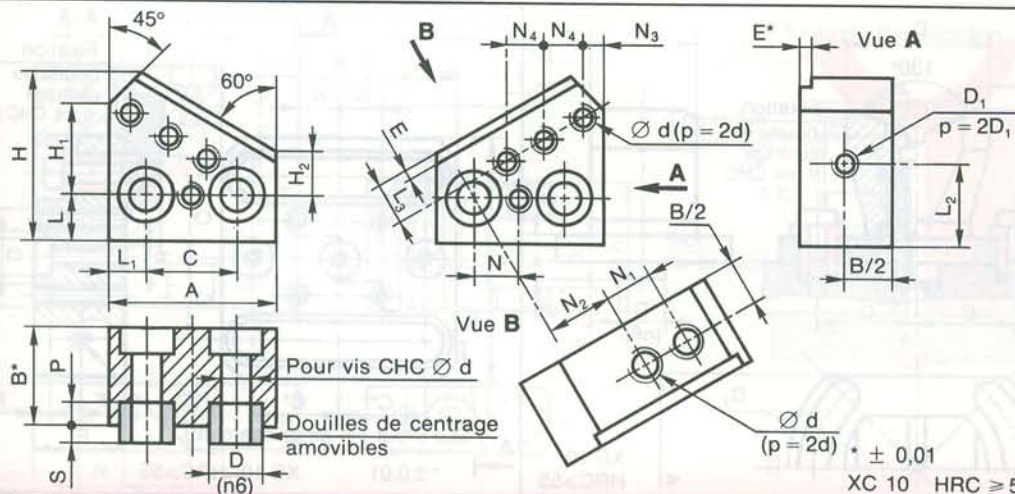
Nlm 211



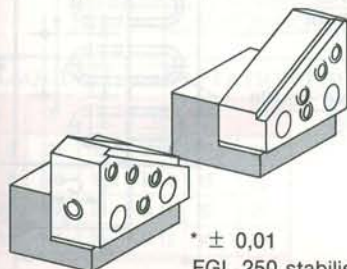
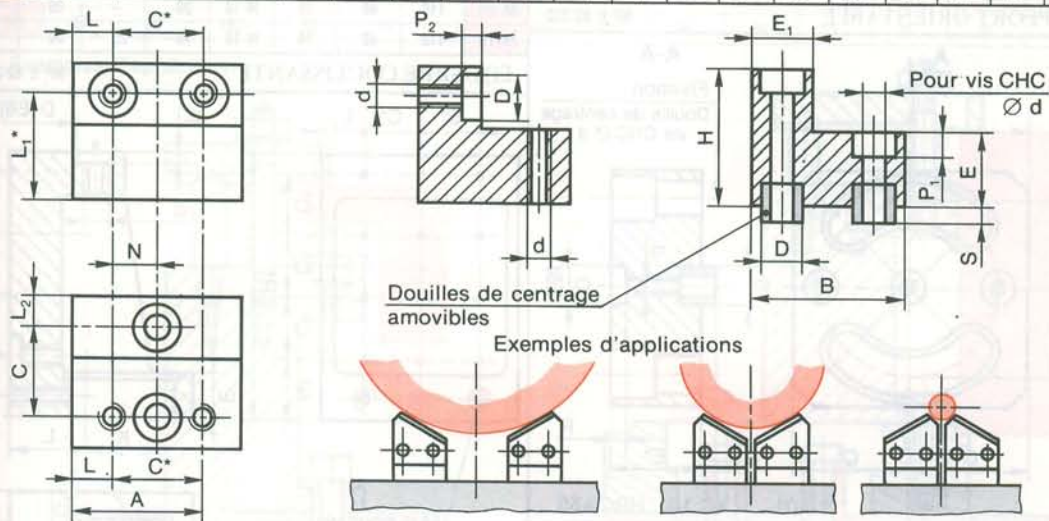
d	d ₁	h	p	t	d	D ₁	D ₂	H	P	R	S	T
M 6	13	17	8,5	10	M 6	12	7	12,5	6	-	3,5	17
M 8	16	21	9	13	M 6	12	7	12,5	6	6	3,5	17
M 10	20	23	10	17	M 10	18	10	20	10	-	5	24
M 12	22	25	12	19	M 10	18	10	20	10	7,5	5	24
M 16	25	32	14	24	M 10	18	17	20	10	-	5	24

VÉ UNIVERSEL (gauche et droit) - SUPPORT DE VÉ UNIVERSEL

NF E 62-332



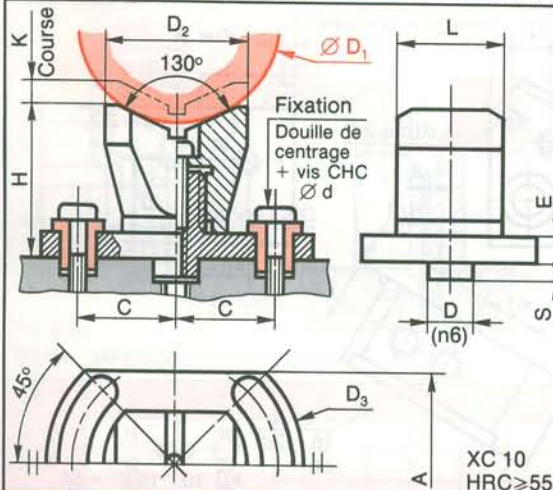
d	A	B	C	D	D ₁	E	H	H ₁	H ₂	L	L ₁	L ₂	L ₃	N	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	P	S
M 6	49	25	25	12	M8	3	46	30,4	13	9,5	12	22	12	12,5	13,5	17,5	6	11,5	7	4
M 10	79	40	40	18	M10	3	74	48,4	21,5	14,5	19,5	32,5	18	20	23	27,5	10	20	11	6



d	A	B	C	D	E	E ₁	H	L	L ₁	L ₂	N	P ₁	P ₂	S
M 6	49	40	25	12	18	15,5	37	12	28	7,7	12	7	4	4
M 10	79	64	40	18	30	25	60	19,5	45	12,5	20	11	6	6

VÉ RÉGLABLE EN HAUTEUR

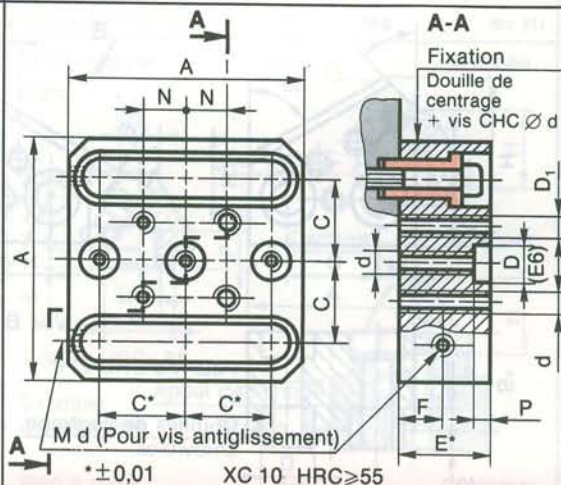
Nim 2226



d	A	C	D ₁	D ₂	D ₃	E	H	K	L	S
M 6	52	25	6 à 70	40	70	9	42	12	33	4
M 10	82	40	10 à 110	66	110	10	69	18	50	6

SUPPORT COULISSANT

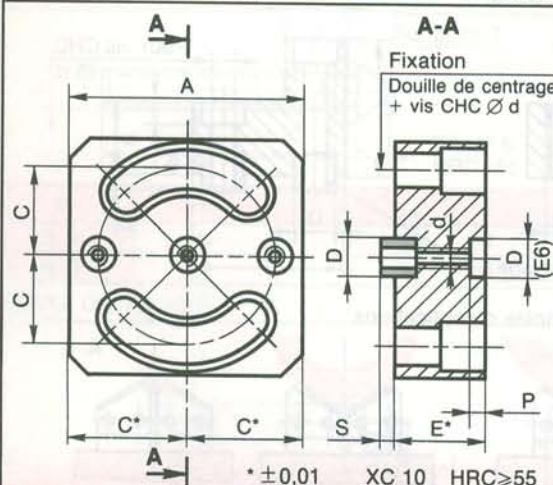
NF E 62-332



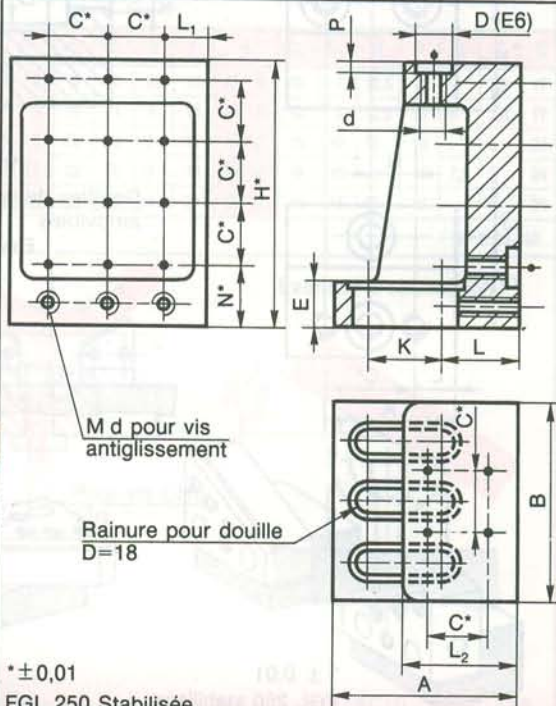
d	A	C	D	D ₁	E	F	N	P
M 6	70	25	12	M 6	12,5	-	12,5	4
M 6	70	25	12	M 6	25	12,5	12,5	4
M 10	110	40	18	M 12	20	-	20	6
M 10	110	40	18	M 12	40	20	20	6

ÉQUERRE COULISSANTE

NF E 62-332

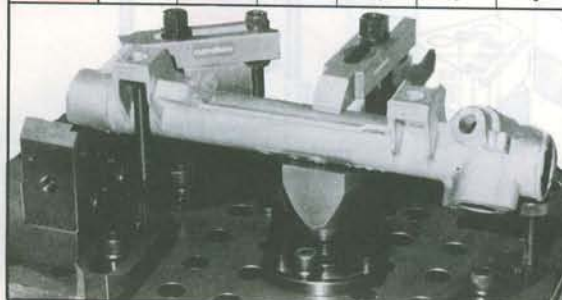


d	A	C	D	E	P	S
M 6	70	25	12	25	4	4
M 10	110	40	18	40	6	6



* ± 0,01
FGL 250 Stabilisée

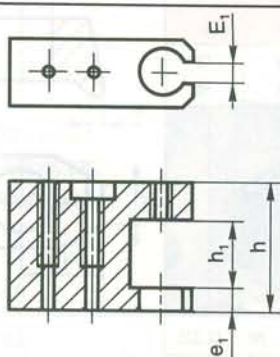
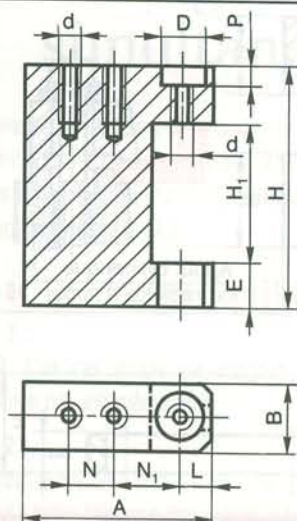
d	A	B	C	D	E	H	K	L	L ₁	L ₂	N	P
M 10	120	130	40	18	32	180	56	50	25	75	40	6
M 10	120	130	40	18	32	260	56	50	25	75	80	6



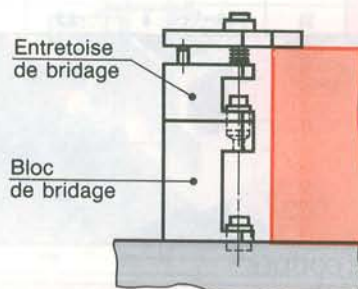
BLOC DE BRIDAGE HAUT

ENTRETOISE DE BRIDAGE

NF E 62-333



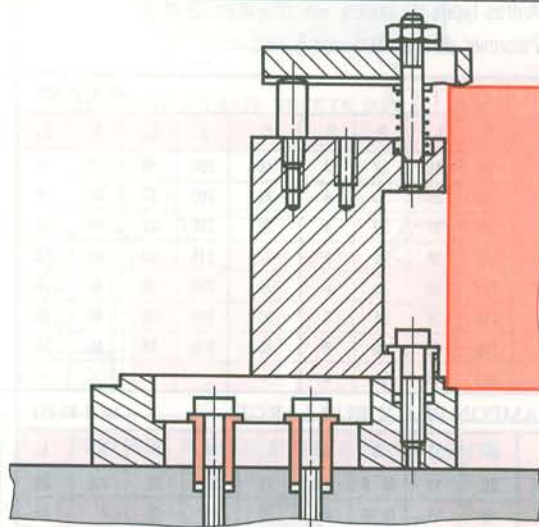
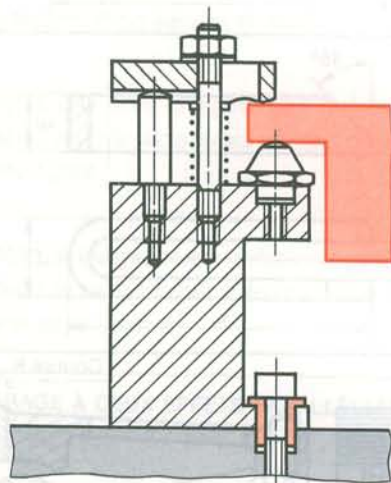
Exemple d'application



XC 45

d	A	B	D	E	E ₁	e ₁	H	h	H ₁	h ₁	L	N	N ₁	P
M 6	50	18	12,2	9	7	9	65	40	43	23	7,5	15,5	19	4
M 10	80	30	18,2	20	11	10	105	55	60	31	12	20	30	6

Exemples d'application

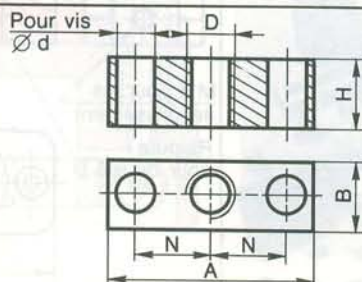


PLAQUETTE D'ADAPTATION POUR BRIDAGE

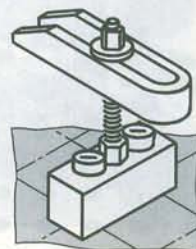
NF E 62-335

d	A	B	D	H	N
M 6	35	12,5	M 8	12,5	12,5
M 6	60	12,5	M 8	19	25
M 10	60	20	M 12	20	20
M 10	100	25	M 12	30	40

Les plaquettes permettent de réaliser une liaison plus résistante avec la plaque de base.



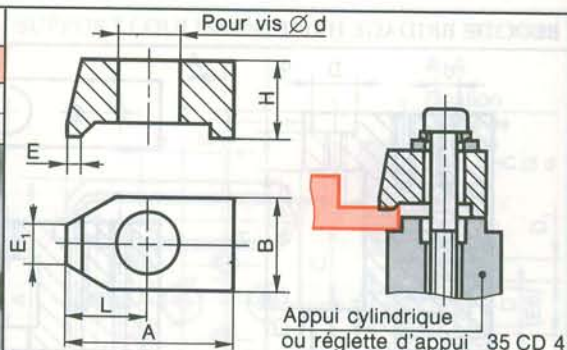
XC 45



MINI-BRIDE

Nlm 452

d	A	B	E	E ₁	H	L
6	22	12	4	6	10	12
10	35	19	6	9,5	16	19



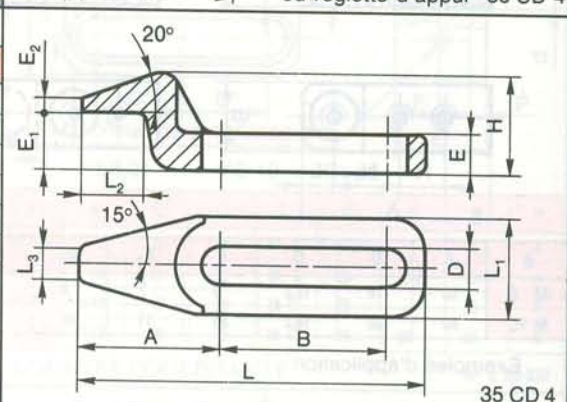
BRIDE COUDÉE

NF E 62-335

D	A	B	E	E ₁	E ₂	H	L	L ₁	L ₂	L ₃
8	28	32	7,5	15	2,5	19	67	20	12,5	6
8	28	50	10,5	17,5	2,5	21,5	85	20	12,5	6
8	28	70	13	20	2,5	24	105	20	12,5	6
12	45	50	12	24	4	30	105	30	20	10
12	45	80	17	29	4	35	135	30	20	10
12	45	110	21	33	4	39	165	30	20	10

NOTA :

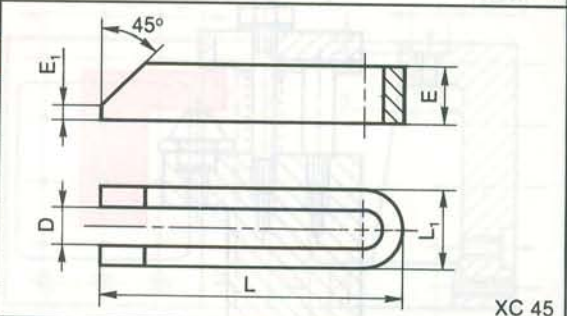
- Autres types de brides, voir chapitres 29 et 30.
- Palonnier de maintien, voir § 33.2.



BRIDE OUVERTE

NF E 21-502

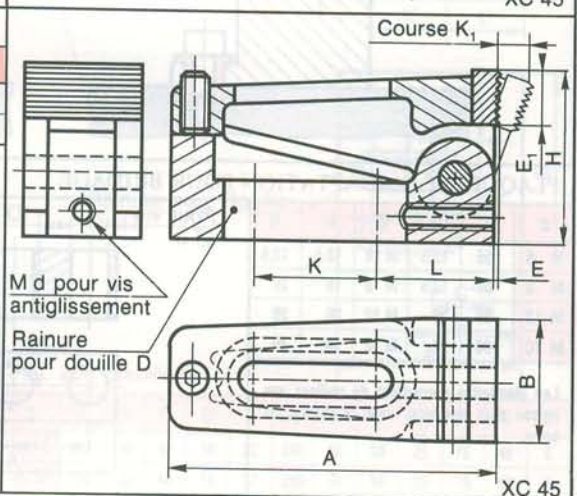
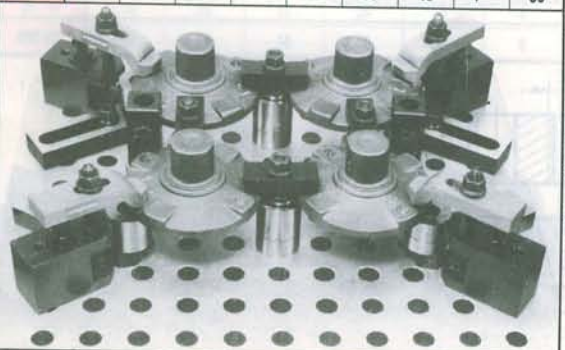
D	L	L ₁	E	E ₁	D	L	L ₁	E	E ₁
7	60	19	12	3	18	250	48	40	10
9	80	25	15	4	22	200	52	40	10
11	100	31	20	5	22	250	62	40	10
14	125	38	25	6	22	315	62	40	10
14	160	38	25	6	26	200	66	40	10
14	200	38	25	6	26	250	66	40	10
18	160	48	30	8	26	315	66	40	10
18	200	48	30	8	-	-	-	-	-



CRAMPON PLAQUEUR LARGE

NF E 62-333

A	B	D	d	E	E ₁	H	K	K ₁	L
65,5	25	12	M 6	2,5	11	35	25	2,5	24
105	40	18	M 10	4	18	56	40	4	39



33 Serrages simultanés

Les serrages simultanés à commande manuelle sont particulièrement nombreux. Nous limiterons l'étude à quelques cas. Pour les solutions à commande hydraulique ou oléopneumatique, voir également § 34.2.

33.1 Bridages équilibrés

Figure 1 :

Il s'agit d'un cas simple de maintien de deux pièces cylindriques par une même bride.

Figure 2 :

La manœuvre des deux brides est réalisée par une commande unique. La faible tolérance des pièces autorise l'absence de rondelles sphériques entre les brides et le boulon.

Figure 3 :

Le dispositif commande deux brides relativement éloignées par l'intermédiaire d'un boulon à œil. Les manœuvres sont rapides et le dégagement des éléments de maintien est total.

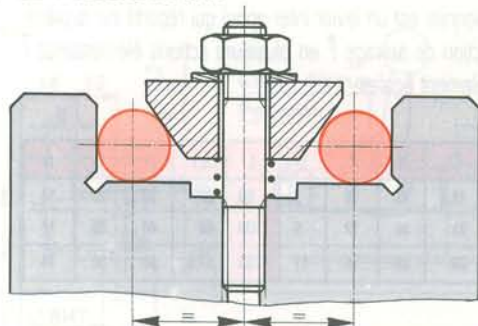
Figure 4 :

Cette solution à deux effets divergents peut également convenir pour des prises de pièces par leur alésage si celui-ci est suffisamment grand.

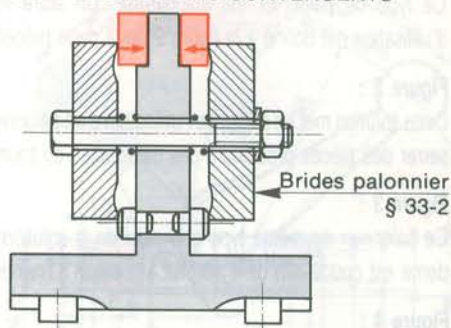
Figure 5 :

Les deux crochets de bridage sont commandés par un serrage unique. Le levier de renvoi transmet et équilibre l'effort de maintien exercé par les crochets.

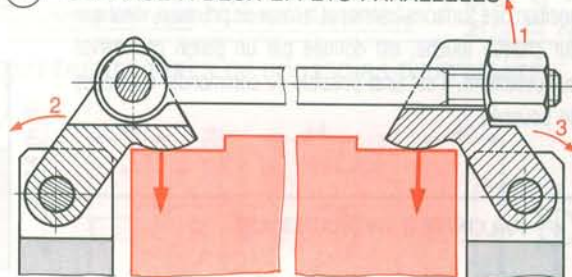
1 SERRAGE DOUBLE



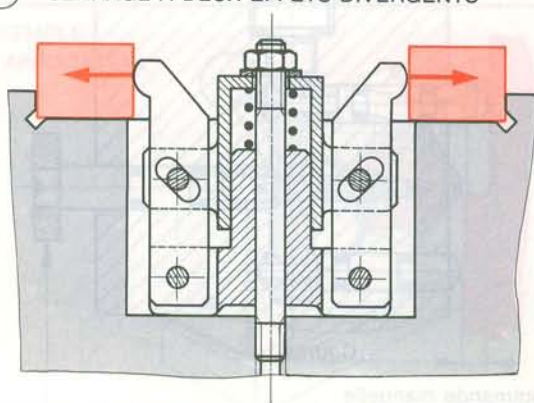
2 SERRAGE À DEUX EFFETS CONVERGENTS



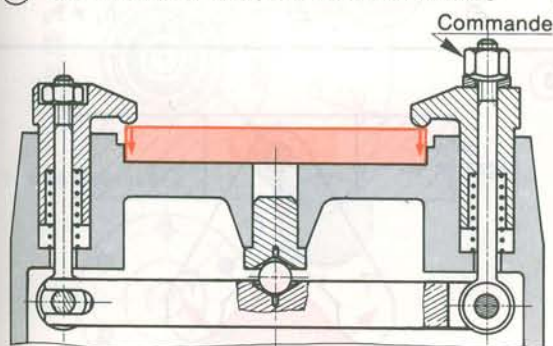
3 SERRAGE À DEUX EFFETS PARALLÈLES



4 SERRAGE À DEUX EFFETS DIVERGENTS



5 SERRAGE À DEUX EFFETS PARALLÈLES



33.2 Palonniers de maintien

Un palonnier est un levier inter-appui qui répartit sur la pièce une action de serrage $\vec{F}$ en plusieurs actions élémentaires $\vec{f}$ sensiblement égales.

L	L1	H	E	D	L	L1	H	E	D
40	18,4	16	10	7	80	37	32	20	14
50	23	20	12	9	100	46	40	25	16
63	29	25	16	11	125	57,5	50	30	18

Figure 1 :

Ce type de palonnier est standardisé. Un autre exemple d'utilisation est donné à la figure 2 de la page précédente.

Figure 2 :

Cette solution met en évidence l'utilisation d'un palonnier pour serrer des pièces présentant des différences de hauteur.

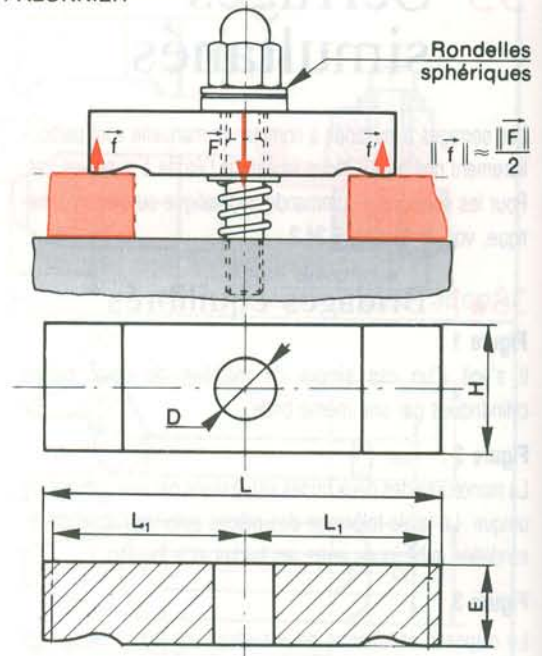
Figure 3 :

Ce palonnier de même type que celui de la solution précédente est coudé afin de s'adapter à la pièce à maintenir.

Figure 4 :

Les touches de ce palonnier hydraulique s'adaptent à la position des surfaces à serrer et la force de poussée, identique sur chaque touche, est donnée par un piston commandé manuellement. Il est ainsi possible de commander n touches de poussée.

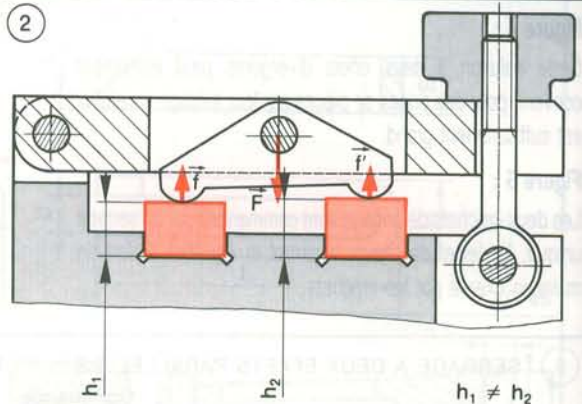
① PALONNIER



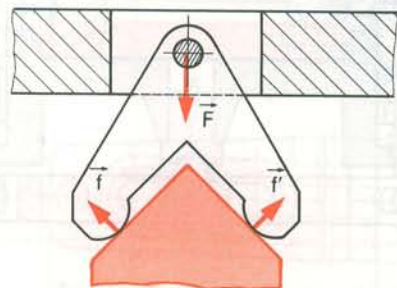
Fabrication : Nlm.

Matière : XC 35 R ≥ 900 MPa*

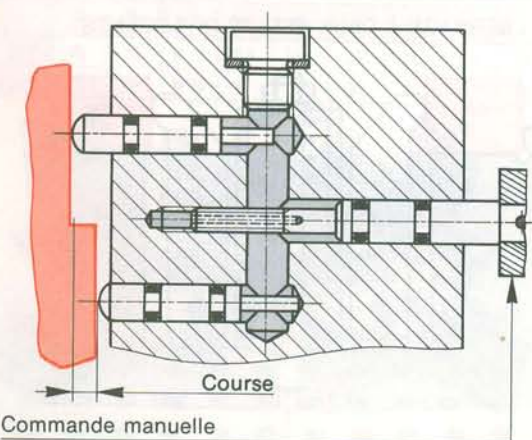
②



③



④ PALONNIER HYDRAULIQUE



* 1 MPa = 1 N/mm².

34 Vérins Poussoirs

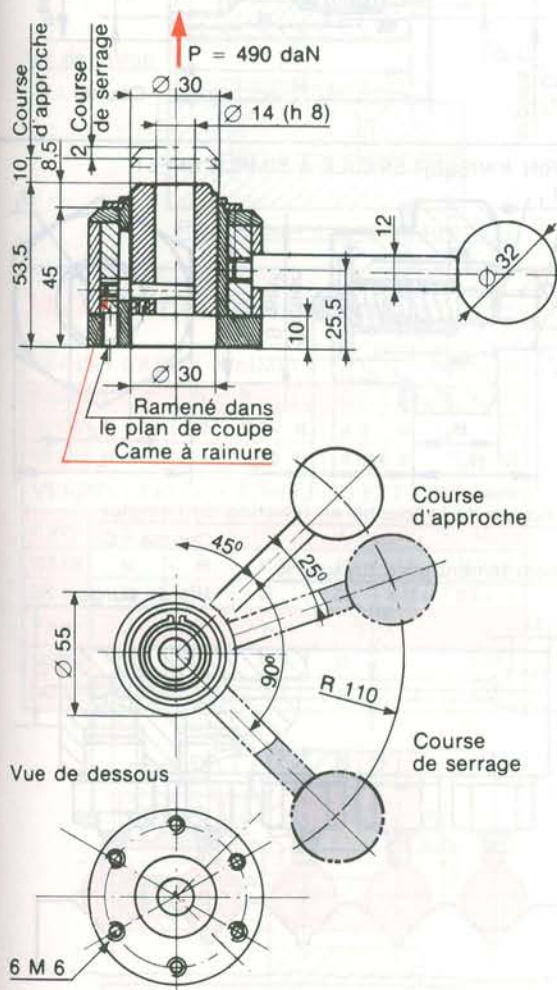
34.1 Vérin à came

L'étude est limitée à deux types de vérins standardisés. Pour le premier, on utilise une **came disque** et pour le second, une **came à rainure** creusée dans un cylindre.

Pour les deux types, on distingue :

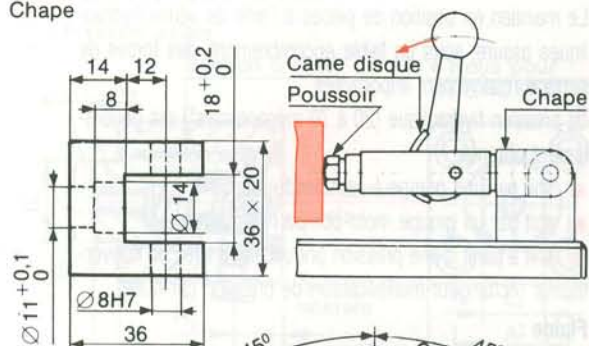
- une course d'approche rapide,
- une course de serrage autoblocante.

VÉRIN À CAME À RAINURE

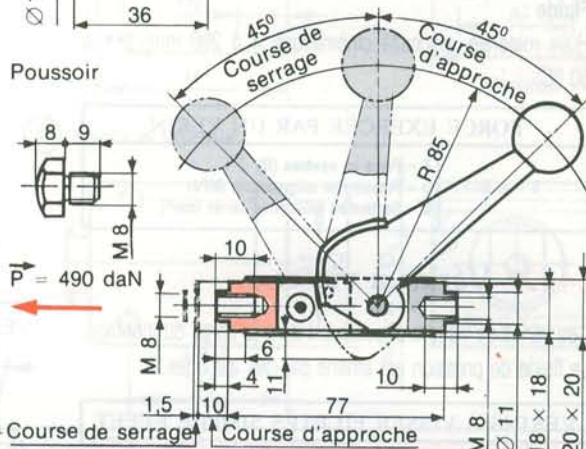


VÉRINS À CAME DISQUE

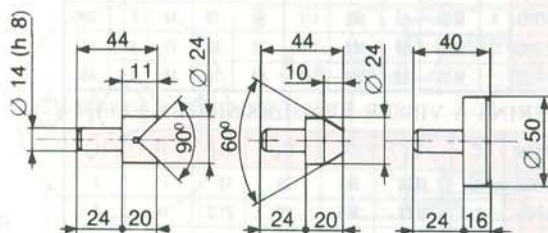
Chape



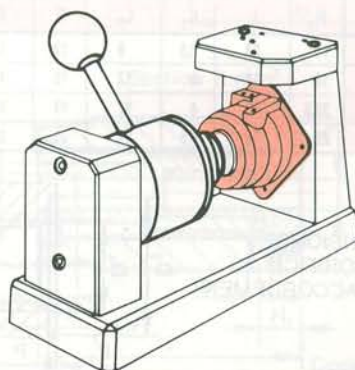
Poussoir



DIFFÉRENTS TYPES DE POUSOIRS D'EXTRÉMITÉ



EXEMPLE D'APPLICATION



34.2 Vérins hydrauliques

Le maintien en position de pièces à l'aide de vérins hydrauliques assure, sous un faible encombrement, des forces de serrage relativement importantes.

La pression hydraulique (20 à 70 mégapascals*) est généralement obtenue :

- soit par une pompe à commande manuelle,
- soit par un groupe moto-pompe hydraulique,
- soit à partir d'une pression pneumatique avec un convertisseur (échangeur-multiplicateur) de pression (air-huile).

Fluide :

Huile minérale, viscosité cinématique 4 à 200 mm²/s** à 50 °C.

FORCE EXERCÉE PAR UN VÉRIN	
$F = p \cdot S$	F = Force en newtons (N) p = Pression en mégapascals (MPa) S = Section en millimètres carrés (mm²)

34.21 Vérins à visser

Ces vérins se vissent directement dans le corps du montage. Le fluide de pression est amené par des alésages.

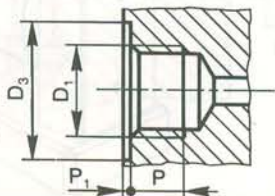
VÉRINS À VISSER FILETÉS SIMPLE EFFET										
F max	C	D	D ₁	D ₂	G	H	H ₁	L ₁	L ₂	S
7900	5	M22	11	M5	1/8"	60	55	9	2,5	113
14000	8	M26	15	M6	1/4"	66	59	12	6	200
22000	10	M33	19	M6	1/4"	76	69	17	4	314
31700		M38	22	M8	1/4"	86	78	19	4,5	452

VÉRINS À VISSER ÉPAULÉS SIMPLE EFFET

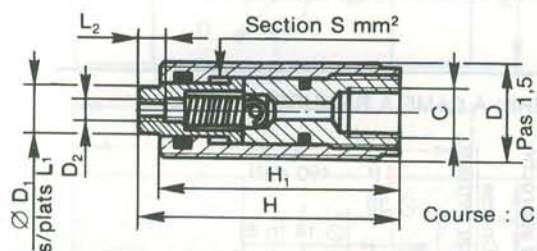
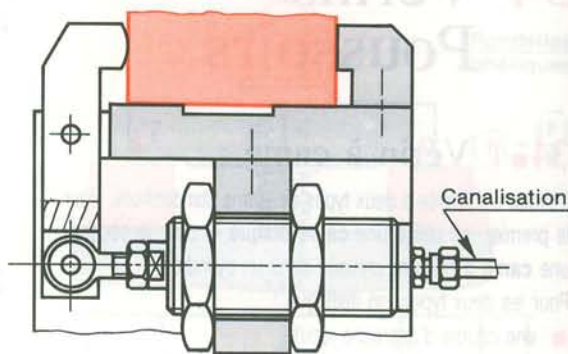
F max	C	D ₁	D ₂	D ₃	H ₁	H ₂	H ₃
7900	5	M20	M5	29	16	11	3
14000	8	M24	M6	29	21,5	14	4
22000	10	M30	M6	36	27,5	16,5	5
31700	15	M36	M8	46	35	20	6

F max	H ₄	L	L ₁	L ₂	P	P ₁	S
7900	11	24	2,5	9	12	1,5	113
14000	15	24	6	12	15	1,5	200
22000	20,5	30	4	17	17	2	314
31700	27	38	4,5	19	21	2	452

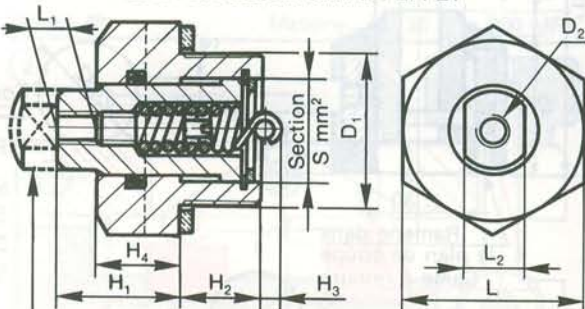
DIMENSIONS
DE L'ORIFICE
DE RACCORDEMENT



VÉRIN À VISSER FILETÉ À SIMPLE EFFET



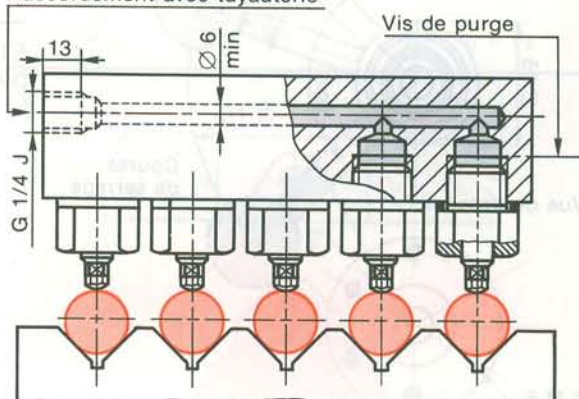
VÉRIN À VISSER ÉPAULÉ À SIMPLE EFFET



Forme de la touche en fonction de l'emploi

Course : C

Raccordement avec tuyauterie



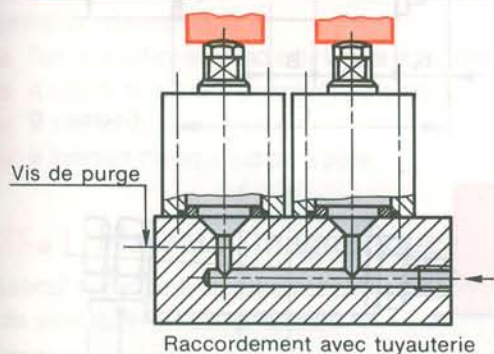
* 1 MPa = 10 bars.

** 1 mm²/s = 1 centistoke.

34.22 Vérins « cubiques »

Le principe d'emploi est le même que celui des vérins à visser (§ 34.21), mais ils sont plus encombrants. Ils présentent l'avantage de réduire l'usinage du montage au dressage d'un plan.

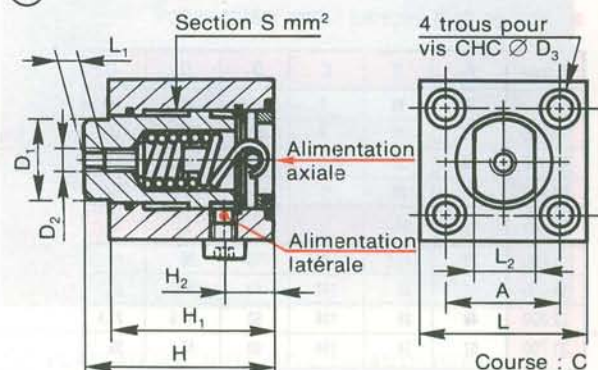
F max	A	C	D ₁	D ₂	D ₃	H	H ₁
56 200	40	20	30	M 8	M 10	71	62
87 900	50	25	36	M 8	M 12	85	74
F max	H ₂	L	L ₁	L ₂	K	M	S
56 200	20	60	5	27	56	56	803
87 900	25	70	4	32	65	67	1256



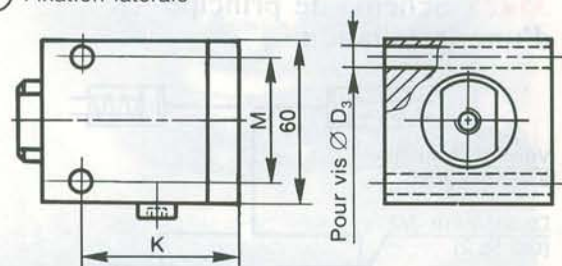
VÉRINS CUBIQUES À SIMPLE EFFET

Alimentation axiale et latérale

① Fixation axiale



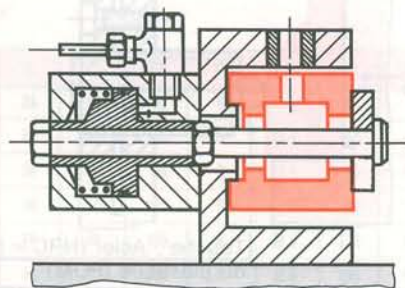
② Fixation latérale



34.23 Vérins à piston creux

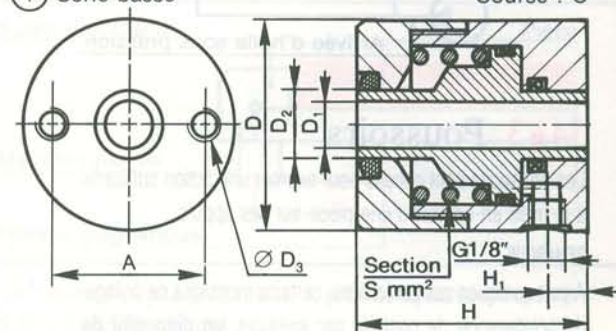
VÉRINS CREUX À SIMPLE EFFET - Série basse									
F max	A	C	D	D ₁	D ₂	D ₃	H	H ₁	S
79 130	40	10	60	12,5	18	M 8	62	10	1130
100 000	48	10	66	17	25	M 10	66	13	1428

VÉRINS CREUX À SIMPLE EFFET - Série haute									
F max	C	D	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄			
122 kN	40	80	31,7	19	—	M 74 × 2			
242 kN	50	112	56	32	M 48 × 2	M 112 × 2			
F max	G	H	H ₁	H ₂	L ₁	S			
122 kN	1/8"	134	23,5	20	—	1750			
242 kN	3/8"	178	20	40	16	3430			

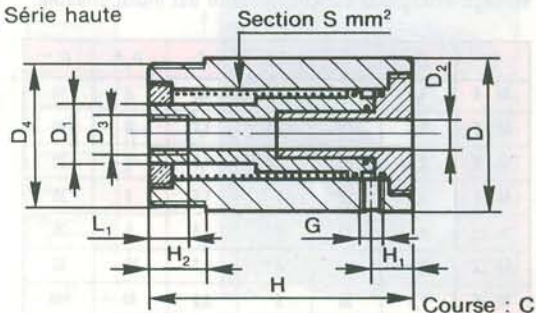


VÉRINS CREUX SIMPLE EFFET

① Série basse



② Série haute



34.24 Vérins à serrage oblique

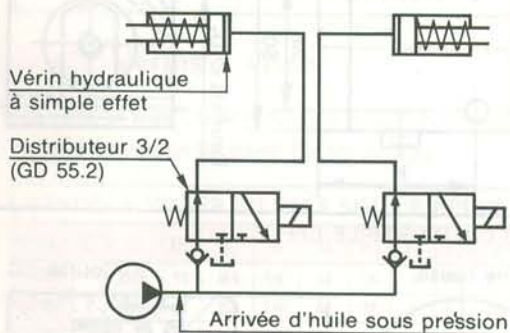
L'action de ces vérins se traduit par deux effets :

- plaquage de la pièce sur l'appui plan horizontal,
- poussée de la pièce sur l'appui linéaire vertical.

F max	A	B	C	D ₁	D ₂	G
7 900	30	16	5	M 8	M 5	1/4"
14 000	36	19	8	M 10	M 6	1/4"
22 000	43	23	10	M 12	M 6	1/4"
31 700	52	28	15	M 16	M 8	1/4"

F max	H	H ₁	L	L ₁	L ₂	L ₃
7 900	33	16,5	86	35	26	16
14 000	40	24	107	42	31	21,5
22 000	48	28	128	50	37,5	27,5
31 700	57	34	155	60	45	35

35.25 Schéma de principe d'une installation



34.3 Poussoirs

Les poussoirs sont conçus pour exercer une action suffisante à la mise en contact d'une pièce sur ses appuis.

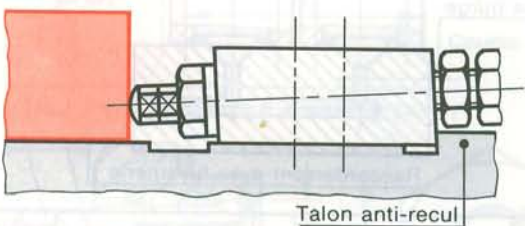
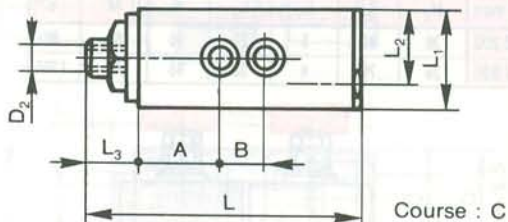
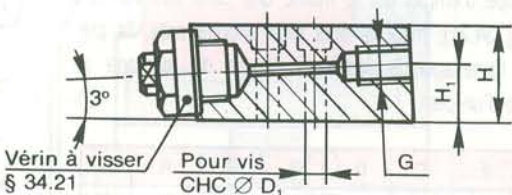
REMARQUE :

A part quelques cas particuliers, certains montages de collage, de soudage ou de contrôle par exemple, **un dispositif de serrage énergétique complémentaire est indispensable.**

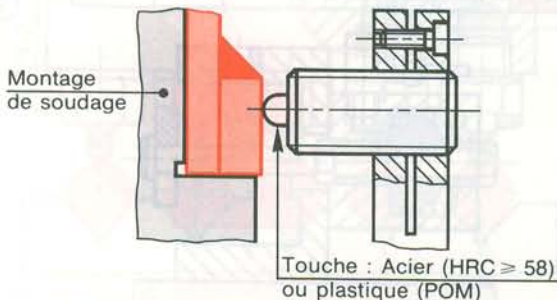
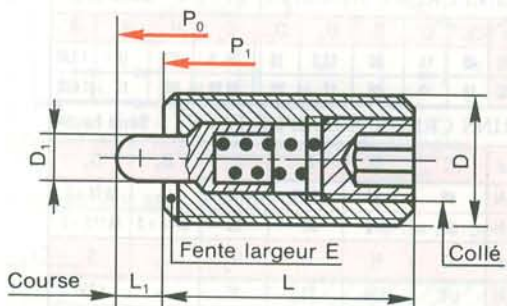
D	D ₁	L	L ₁	E	P ₀ *	P ₁ *
M 4	1,5	15	1,5	0,6	5	16
M 5	2,4	18	2,3	1,2	6	20
M 6	2,7	20	2,5	1,3	7	20
M 8	3,5	22	3	1,5	9	35
M 10	4	22	3	1,5	9	35
M 12	6	28	4	2,7	10	55
M 16	7,5	32	5	3,2	45	100

* Poussée en newtons.

VÉRIN PLAQUEUR À SIMPLE EFFET



POUSOIR



35 Maintien magnétique

Le maintien magnétique permet d'éliminer tout dispositif mécanique de serrage.

Il est évident :

- que la pièce doit être magnétique,
- ou que le support, dans laquelle elle est fixée, est magnétique.

L'effort de maintien magnétique est fonction de nombreux paramètres, notamment :

- l'aire de la surface de contact entre la pièce et le plateau,
- la rugosité de la surface en contact avec le plateau,
- le matériau de la pièce à usiner,
- le traitement thermique subi par la pièce.

35.1 Plateaux magnétiques

Le circuit magnétique de ces plateaux est prévu pour maintenir des pièces quelle que soit leur épaisseur.

REMARQUE :

Pour des travaux engendrant des chocs, ou des efforts de coupe relativement importants, il est conseillé de fixer à l'extrémité du plateau magnétique une butée (fig. 2).

Longueur	130	175	200	250	255	250	300	350	450	470
Largeur	70	100	100	100	130	150	150	150	150	175
Longueur	400	460	500	600	700	480	400	500	600	700
Largeur	200	200	200	200	200	220	250	250	250	250

35.2 Mandrins magnétiques

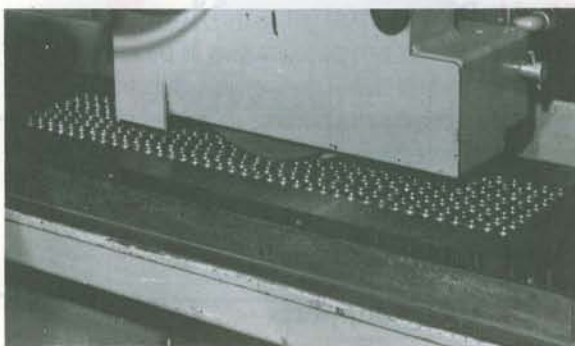
Si l'effort de coupe le justifie, on peut mettre une goupille d'entraînement.

Afin d'éviter l'adhérence des copeaux, le centreur est aimanté.

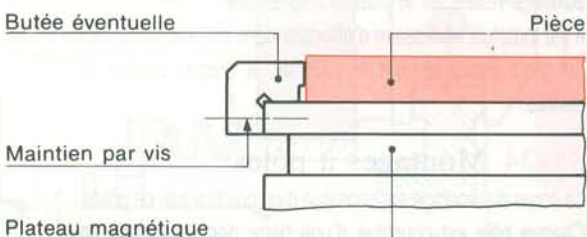
A	B	C	D	E	d	R1	R2
150	54	20	50	5	M 6	40	60
200	58	28	60	5	M 6	55	90
250	58	30	80	5	M 6	70	110
300	58	40	150	6	M 8	90	130
350	70	40	170	6	M 8	110	150
400	80	40	200	8	M 8	130	170

Fabrication : Brailon - 73800-Montmélián.

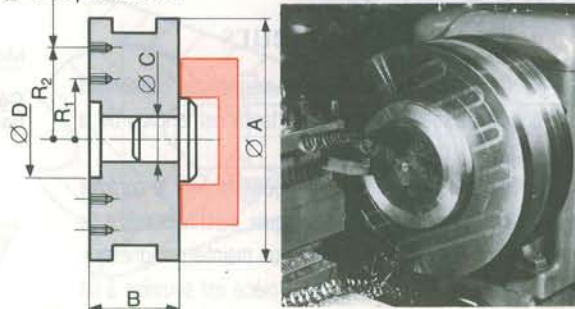
1 RECTIFICATION EN SÉRIE DE RONDELLES



2 PLATEAU MAGNÉTIQUE À AIMANTS PERMANENTS Type PF



3 MANDRIN MAGNÉTIQUE À AIMANTS PERMANENTS 4 fois 2 trous taraudés Type ERCA



35.3 Montages magnétiques

35.3.1 Pièces non magnétiques

La méthode générale consiste en une prise de pièces dans un montage en acier doux. Les dimensions de la semelle doivent être suffisantes pour permettre un maintien efficace par le plateau magnétique.

Il est souvent possible de préparer deux montages, ce qui permet d'en charger un pendant que les pièces sont rectifiées sur l'autre montage.

35.3.2 Blocs supports

Les blocs supports sont des éléments composés de lamelles alternées en acier doux et en laiton. Ils amènent le flux magnétique de la plaque supérieure du plateau aux pièces à usiner. Il existe des éléments ayant des dimensions standardisées dans lesquelles on peut usiner éventuellement une mise en position adaptée de la pièce.

Longueur	80	80	120	230	330	400	180
Largeur	60	80	80	80	80	100	120
Épaisseur	30	50	50	50	50	50	40

35.3.3 Adaptateurs

Pour la mise en position de pièces à profil irrégulier, on évite généralement d'usiner la plaque polaire en utilisant une plaque auxiliaire vissée sur le plateau magnétique.

Il est toutefois nécessaire d'effectuer dans cet adaptateur des entrefers conformément à ceux de la plaque polaire du plateau.

35.3.4 Montages à pôles

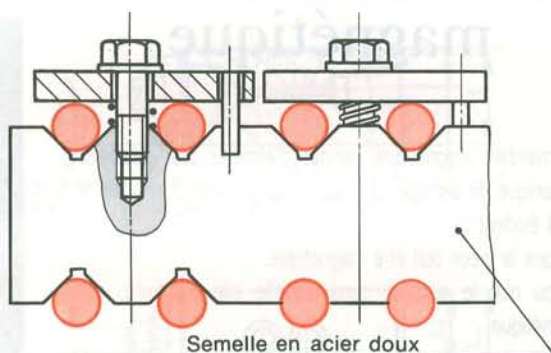
Le corps du montage est constitué d'un nombre pair de pôles. Chaque pôle est constitué d'une barre dont la surface en contact avec le plateau magnétique est dégagée à l'emplacement des entrefers et des pôles de noms contraires.

35.4 Démagnétiseurs

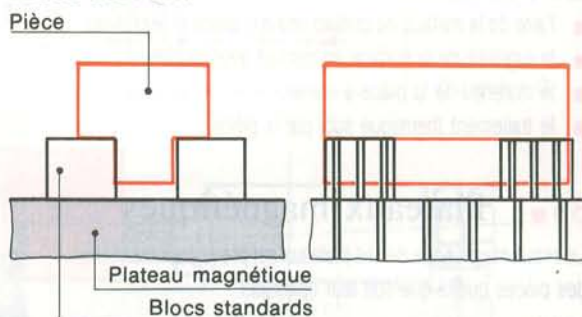
Les pièces soumises à un maintien magnétique conservent un magnétisme résiduel dont l'importance est fonction de la composition de l'acier.

Cette magnétisation rémanente est gênante pour le contrôle et l'utilisation des pièces. C'est pourquoi, il est nécessaire de passer toutes les pièces ayant subi un maintien magnétique sur un plateau démagnétiseur où la pièce est soumise à un champ magnétique alternatif et décroissant.

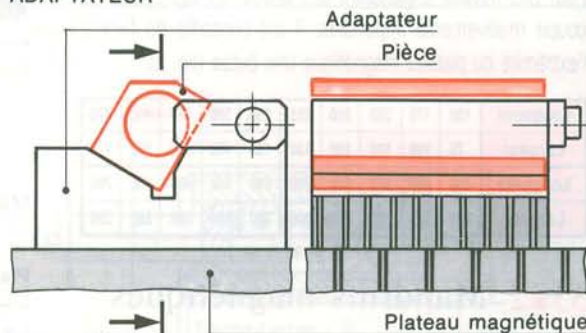
MONTAGE POUR PIÈCES AMAGNÉTIQUES



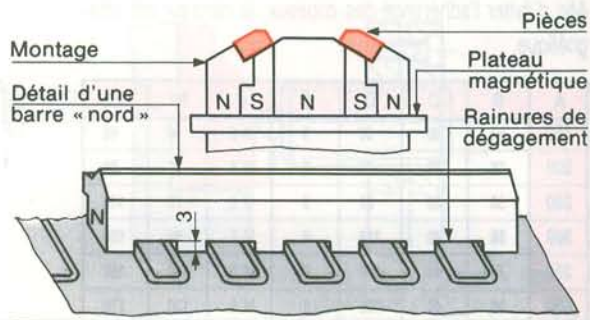
BLOCS SUPPORT



ADAPTATEUR



MONTAGE À POLES



36 Limiteurs de serrage

Pour certaines applications et notamment dans le cas de pièces déformables, il peut être nécessaire :

- d'exercer sur une pièce une action de maintien de valeur définie,
- d'interdire toute possibilité de dépassement de cette valeur.

Nous limiterons l'étude à quelques solutions classiques.

Figure 1 : L'action de maintien est transmise à la pièce par l'intermédiaire d'un ressort de charge connue. Pour enlever la pièce, on réduit la charge exercée par le ressort en desserrant la vis de quelques tours.

Figure 2 : En utilisant un vérin (simple effet ou double effet) et en régulant la valeur de la pression du fluide, il est possible d'exercer sur la pièce une action de maintien connue :

$$F = p.S$$

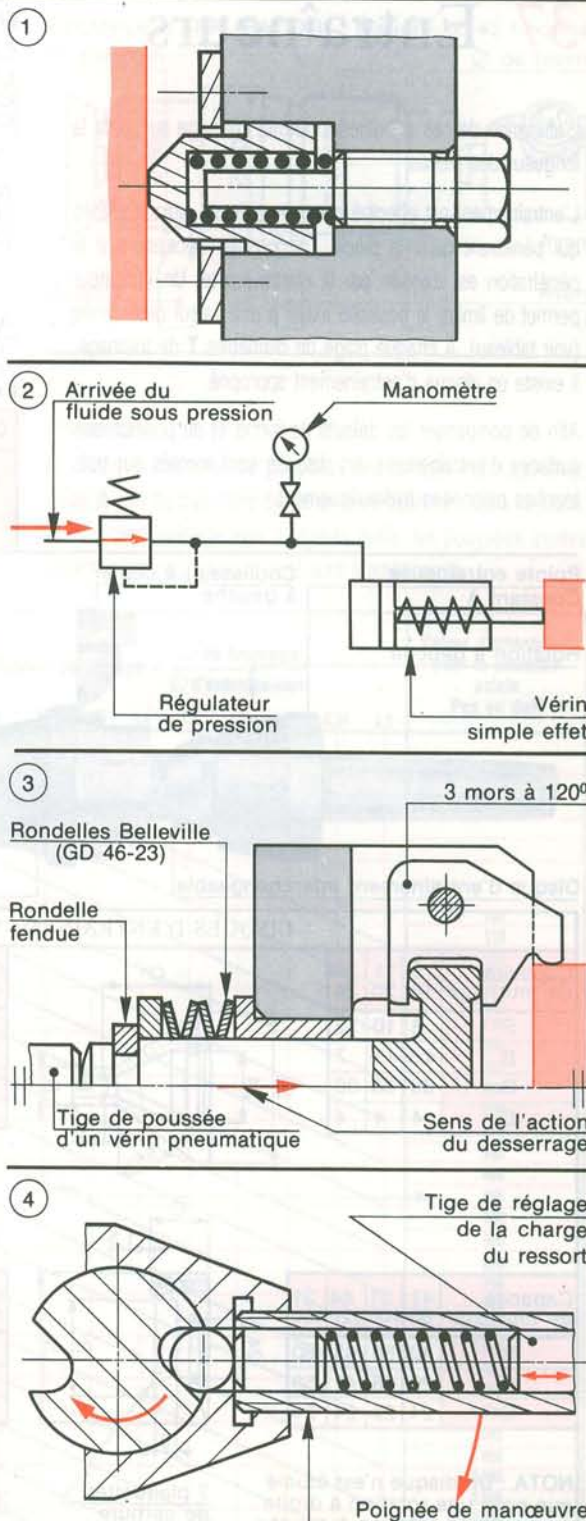
F = intensité de l'action de maintien, en daN,

p = pression du fluide, daN/cm² ou bars,

S = aire de la section du piston, cm².

Figure 3 : Dans ce dispositif à serrage concentrique, l'action de maintien est donnée par des rondelles Belleville. Le desserrage est obtenu par la poussée d'un vérin pneumatique. Cette solution présente l'avantage de conserver le serrage de la pièce même si la pression d'alimentation est coupée.

Figure 4 : Les clés dynamométriques permettent de serrer des vis ou des écrous avec un couple de serrage donné. Lorsqu'au serrage la valeur de ce couple est atteinte, la clé se déclenche automatiquement et il est impossible de serrer davantage. Sur le modèle représenté, la valeur du couple de serrage peut être réglée en comprimant plus ou moins le ressort.



CLÉ DYNAMOMÉTRIQUE



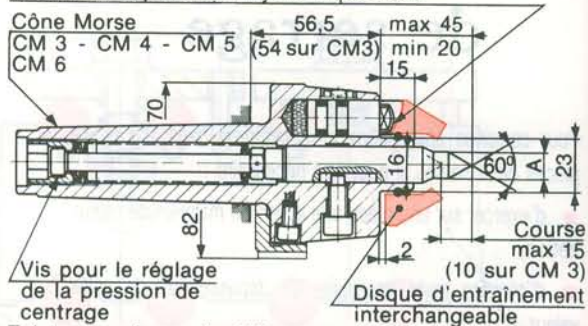
37 Entraîneurs

L'utilisation de ces entraîneurs permet l'usinage sur toute la longueur des pièces.

L'entraînement est effectué par des couteaux radiaux affûtés qui pénètrent dans la pièce. La poussée nécessaire à la pénétration est donnée par la contre-pointe. Un indicateur permet de limiter la poussée axiale à une valeur déterminée (voir tableau). À chaque plage de diamètres **T** de tournage, il existe un disque d'entraînement approprié.

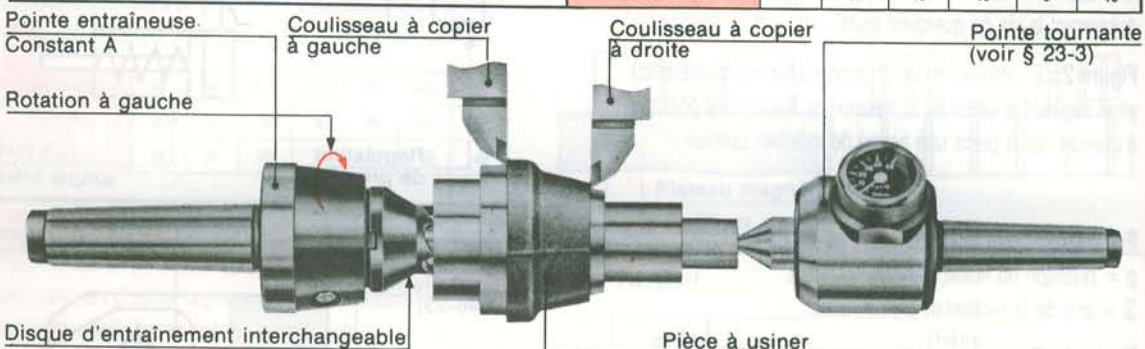
Afin de compenser les défauts de forme et de position des surfaces d'entraînement, les disques sont montés sur trois touches palonnées hydrauliquement.

ENTRAÎNEUR FRONTAL CONSTANT Type CoA 3 touches équilibrées hydrauliquement



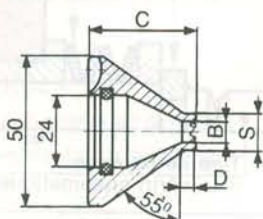
Existe avec écrou de déblocage

Capacité de tournage	9-16	11-20	13-24	17-32	21-40	26-50
Pointe $\varnothing$ A	4	4	6	10	12	16
Capacité $\varnothing$ T	33-64	41-80	51-100	64-160	16-80	41-200
Pointe $\varnothing$ A	16	16	16	16	6	16

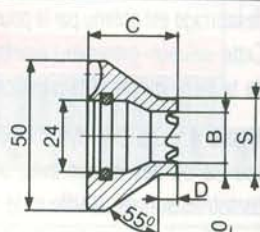


DISQUES D'ENTRAÎNEMENT INTERCHANGEABLES

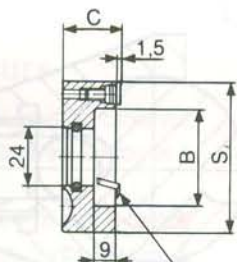
Capacité de tournage	9 16	11 20	13 24
S	8	10	12
B	4,5	4,5	7
C	38	38	36
D	4	4	4



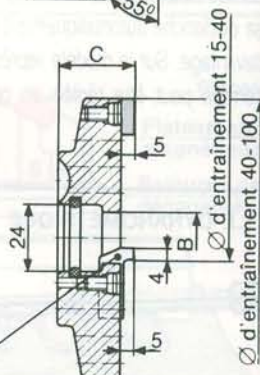
Capacité de tournage	17 32	21 40	26 50	33 64
S	16	20	25	32
B	11	13	17	22
C	33	30	30	30
D	4	4	6	8



Capacité de tournage	41 80	51 100	64 126	21 160
S	40	50	63	80
B	20	28	41	58
C	24	24	24	24



Capacité de tournage	16 80	41 200
S	15-40	40-100
B	18	18
C	27	27



NOTA : Un disque n'est étudié que pour une rotation à droite ou pour une rotation à gauche.

3 plaquettes de carbure réversibles

3 entraîneurs réglables

38 Appuis secondaires

38.1 Objet

Pour certaines pièces, relativement flexibles, la prise de pièce n'est généralement pas suffisante pour empêcher la flexion de la pièce et éviter les vibrations pendant l'usinage.

Il en résulte :

- des défauts de forme de la pièce ;
- de mauvaises conditions d'usinage (taux de coupe faible).

On améliore la rigidité d'une prise de pièces en utilisant des appuis de soutien à réglage irréversible.

PRINCIPE D'UTILISATION :

Afin de réduire l'influence des moments dus aux efforts de coupe, les appuis secondaires sont placés aussi près que possible des surfaces à usiner.

EXEMPLES :

Sur un tour parallèle, pour des pièces longues ne pouvant être maintenues par une contrepointe, on peut utiliser une lunette fixe.

De même, pour un chariotage de grande longueur, la lunette à suivre maintient, à une distance constante, la pièce à usiner par rapport à l'outil.

REMARQUE :

La symbolisation technologique des appuis secondaires est un triangle équilatéral non noirci (voir § 4.22).

38.2 Vérins d'appui

UTILISATION :

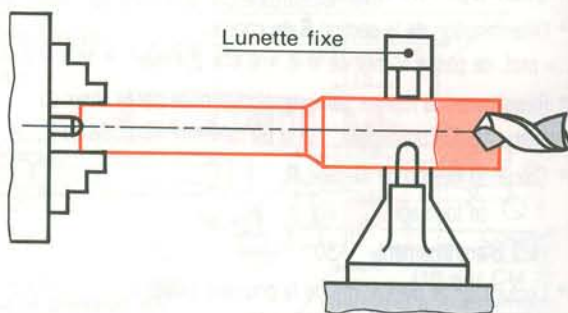
La pièce est montée vérin d'appui débloqué. Après serrage du dispositif de maintien de la pièce, le piston du vérin d'appui est mis en position puis bloqué.

La figure donne les caractéristiques d'un vérin d'appui standard.

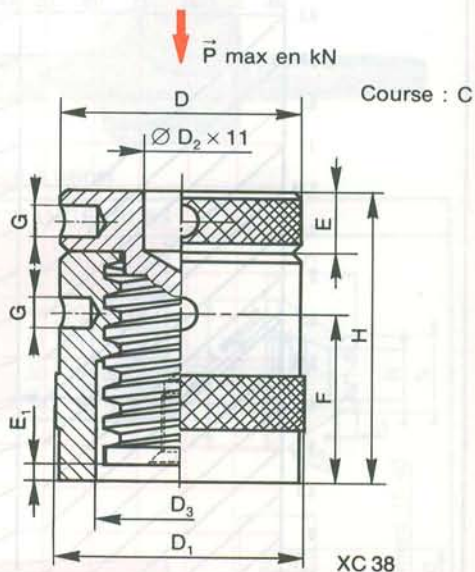
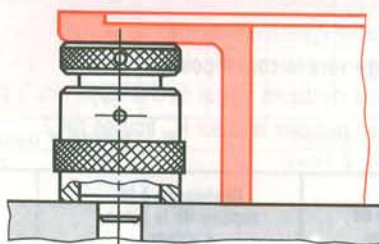
REMARQUE :

Ces dispositifs sont également appelés : « antivibreurs ».

LUNETTE FIXE

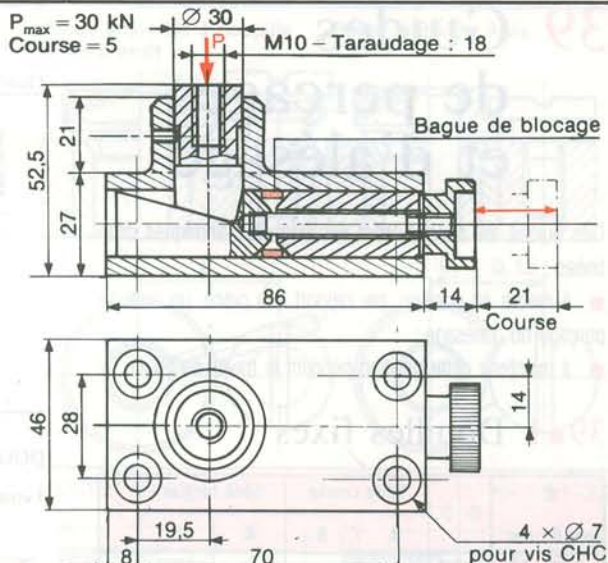
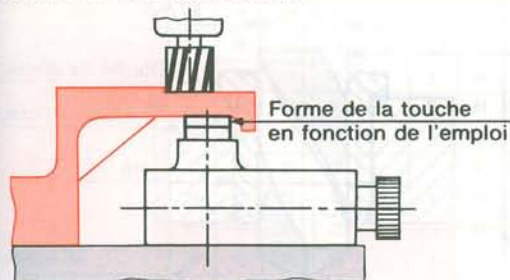


VÉRIN D'APPUI



H	D	D ₁	D ₂	D ₃	C	E	E ₁	F	G	P
38	32	32	—	22	13	8	1,5	23	4	15
50	50	50	12	36	21	12	0,5	30	6	60
70	50	50	12	36	32	16	0,5	43	6	60
100	65	70	12	42	44	25	0,5	61	6	100
140	70	80	12	54	73	30	1,5	90	10	170
190	80	98	12	68	110	34	2,5	130	10	350

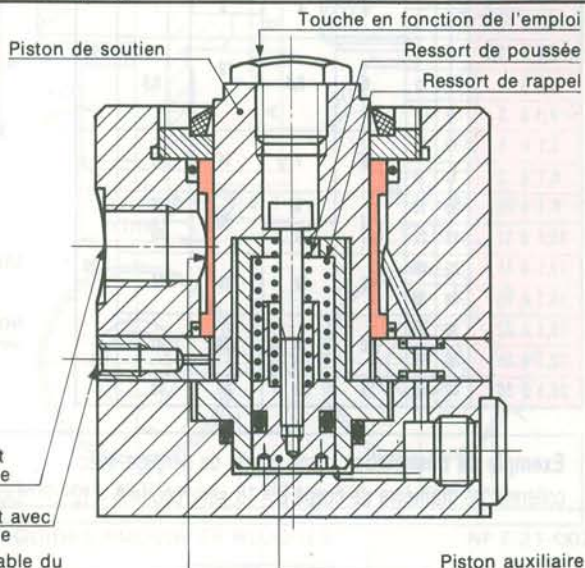
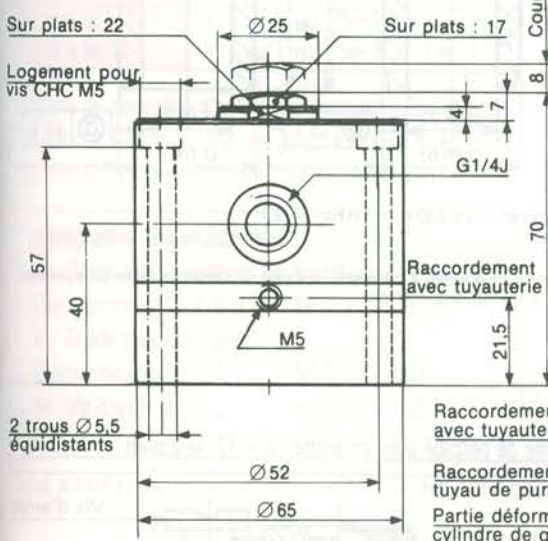
VÉRIN SUPPORT HORIZONTAL*



L'appareil débloqué, la touche est mise en position en tirant axialement le bouton moleté.

Le contact avec la pièce obtenu, on serre l'écrou moleté, ce qui a pour effet de provoquer l'expansion de la bague centrale et d'obtenir le blocage de l'appareil.

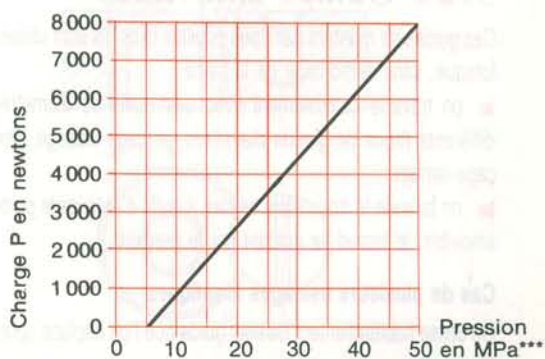
VÉRIN D'APPUI HYDRAULIQUE**



En position repos, le piston est rentré.

Sous l'action de la pression, il vient s'appuyer en exerçant une faible force. Lorsque la pression monte, la partie déformable du cylindre de guidage bloque le piston.

Lorsque la pression est supprimée, le piston est soumis à l'action d'un ressort de rappel qui lui fait reprendre sa position initiale.



* Fabrication : Nlm.

** Fabrication : Römheld.

*** 1 MPa = 10 bars.

39 Guides de perçage et d'alésage

Ces guides, ou canons, sont des bagues cylindriques destinées :

- à mettre en position, par rapport à la pièce, un outil de perçage ou d'alésage ;
- à maintenir cette position pendant le travail de l'outil.

39.1 Douilles fixes

d* par 0,1 mm	D	D ₁	Série courte		Série longue		t
			A	B	A	B	
1,5 à 1,8	4	7	6	4	9	7	0,01
1,9 à 2,6	5	8					
2,7 à 3,3	6	9					
3,4 à 4	7	10	8	5,5	12	9,5	
4,1 à 5	8	11					
5,1 à 6	10	13					0,02
6,1 à 8	12	15	10	7	16	13	
8,1 à 10	15	18		9	20	17	
10,1 à 12	18	22	12	8		16	
12,1 à 15	22	26					
15,1 à 18	26	30	16	12	28	24	
18,1 à 22	30	34					
22,1 à 26	35	39	20	15	36	31	
26,1 à 30	42	46	25	20	45	40	

Exemple de désignation d'une douille de perçage avec collerette de **diamètre de corps D=18**, série courte **A=12** :

Douille de perçage avec collerette 18 x 12, NF E 21-001

39.2 Guides amovibles

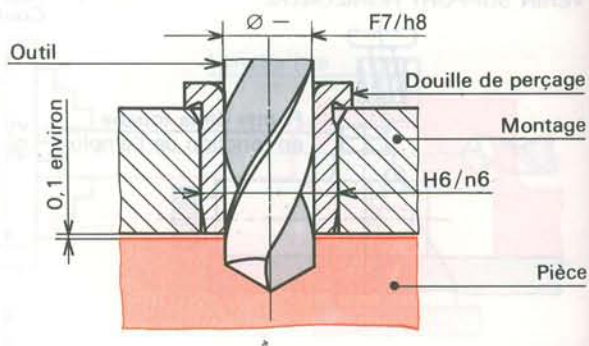
Ces guides se montent dans des douilles fixes. Ils sont utilisés lorsque, sans démontage de la pièce :

- on travaille coaxialement avec des outils de diamètres différents (trous de grands diamètres, perçage-alésage, perçage-lamage) ;
- on taraude le trou ; dans ce cas, il suffit d'enlever le guide amovible, le taraud se guidant par le perçage.

Cas de plusieurs usinages identiques

On utilise habituellement un seul guide que l'on déplace après chaque perçage.

* Fabrication : Nlm.

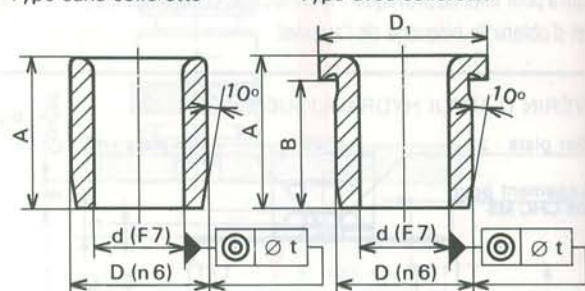


DOUILLES FIXES

NF E 21-001

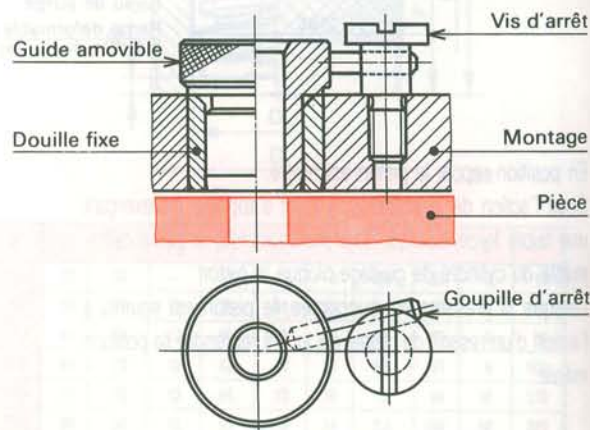
Type sans collerette

Type avec collerette



Matière* : 35 CD 4 HRC ≥ 63

NOTA : Les douilles à collerette assurant une position axiale plus précise sont à utiliser de préférence.



d	D	D ₁	A	B	F	G	H
≤ 4	8	15	10	8	4,25	2,5	27
4 à 6 inclus	10	18	12	8	4,25	2,5	30
6 à 8	12	22	12	10	6	3	34
8 à 10	15	26	16	10	6	3	41
10 à 12	18	30	16	10	6	3	44
12 à 15	22	34	20	12	7	5	52
15 à 18	26	39	20	12	7	5	56
18 à 22	30	46	25	12	7	5	63
22 à 26	35	52	25	12	6,5	6	73
26 à 30	42	59	30	12	6,5	6	79

d	I	J	R	a	E ₁	E ₂	t
≤ 4	3	4,5	7	65°	15	11,5	
4 à 6 inclus	3	6	7	65°	17	13	
6 à 8	4	7,5	8,5	60°	20	16	
8 à 10	4	9,5	8,5	50°	22	1	
10 à 12	4	11,5	8,5	50°	24	2	0,02
12 à 15	5	13	10,5	40°	28	23,5	
15 à 18	5	15,5	10,5	40°	31	26	
18 à 22	5	19	10,5	30°	35	29,5	
22 à 26	5	22	10,5	30°	37	32,5	
26 à 30	5	25,5	10,5	30°	41	36	0,04

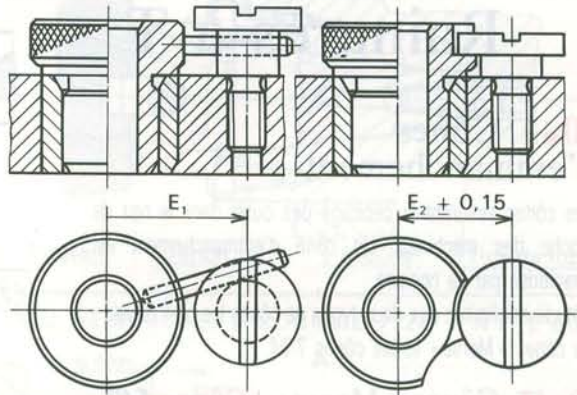
À partir de dispositifs d'arrêt particuliers, un guide est utilisé immobilisé en rotation soit par goupille et vis d'arrêt, ou par vis d'arrêt, soit complètement immobilisé (bloqué).

Désignation dimensionnelle :

- Guide avec goupille et vis d'arrêt
Guide amovible D × A × G NF E 21 - 002
- Guide avec vis d'arrêt
Guide amovible D × A NF E 21 - 002
- Vis d'arrêt Mp × L NF E 21 - 003

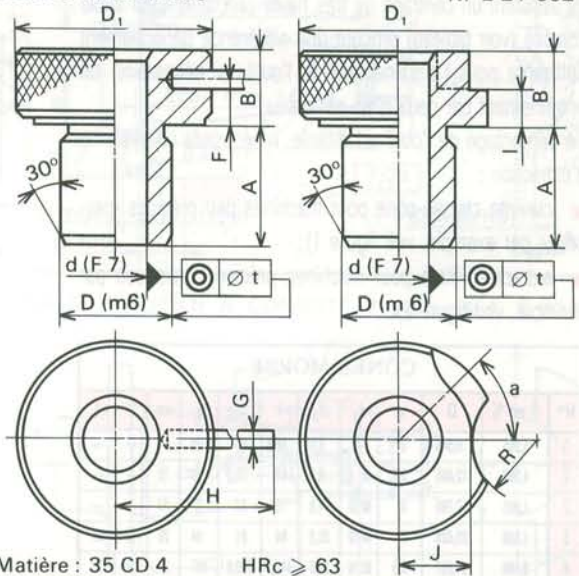
Guide amovible à goupille et vis d'arrêt

Guide amovible à vis d'arrêt



GUIDES AMOVIBLES

NF E 21-002



Matière : 35 CD 4

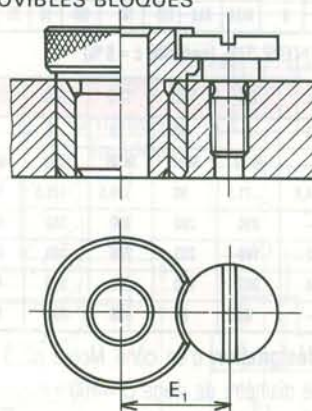
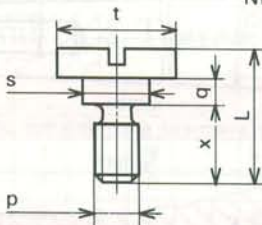
HRc ≥ 63

VIS ARRÊTOIR

NF E 21-003

GUIDES AMOVIBLES BLOQUÉS

NF E 21-002



Guide Alésage d	p	Goupille d'arrêt		Vis d'arrêt				
		L	q	t	s	x	t	s
≤ 6	M 5	18	6	15	3	9	13	7,5
6 à 12	M 6	22	8	18	4	10	16	9,5
12 à 30	M 8	27	10,5	22	5,5	11,5	20	12
30 à 85	M 10	38	13	32	7	18,5	24	15

40 Cônes Rainures à T

40.1 Cônes d'emmanchement

Ces cônes assurent le centrage des outils dans le nez de broche des machines. Un cône d'emmanchement est caractérisé par sa conicité.

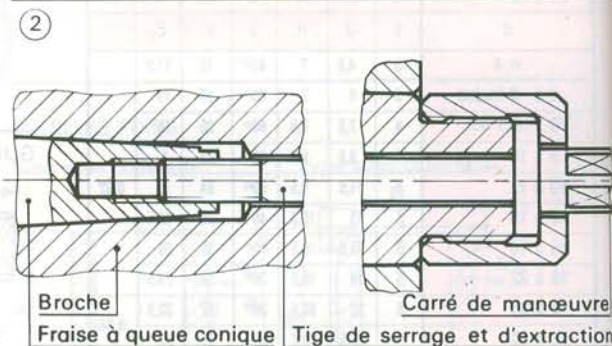
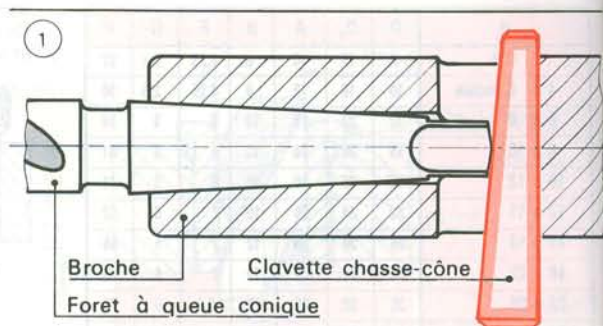
L'étude est limitée aux deux types de cônes les plus usuels : les cônes « Morse » et les cônes 7/24.

40.1.1 Cônes « Morse ». Cônes 5 %

Ils assurent un centrage de très haute précision. Leur faible conicité (voir tableau) procure une adhérence généralement suffisante pour l'entraînement de l'outil ; si nécessaire, un entraînement par deux plats est prévu.

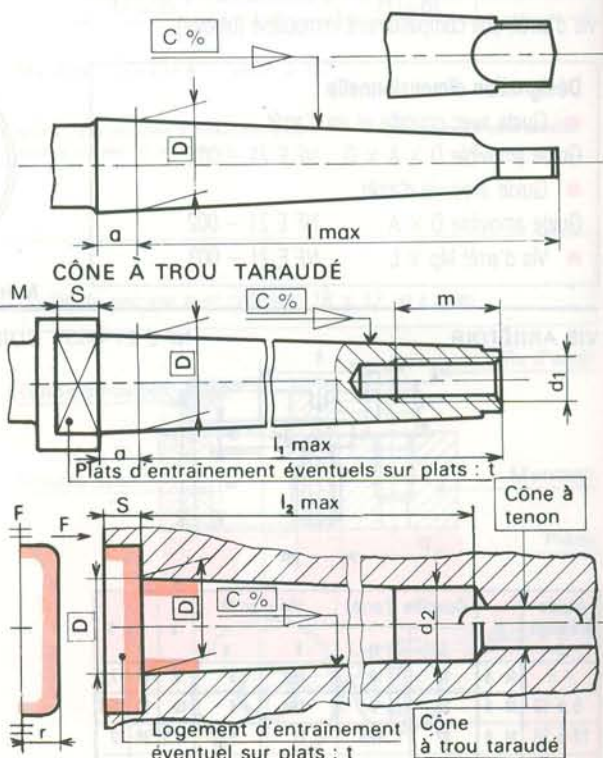
Le démontage de l'outil est difficile. Il nécessite un système d'extraction :

- clavette chasse-cône pour machines peu précises (perceuse par exemple, voir figure 1) ;
- extracteur fileté pour machines précises (fraiseuse par exemple, voir figure 2).



CÔNE À TENON

NF E 66-531



CÔNES MORSE

N°	C en %	D	a	d ₁	d ₂	l	l ₁	l ₂	m	S	t
0	5,205	9,045	3	—	6,7	56,5	50	52	—	—	—
1	4,988	12,065	3,5	M 6	9,7	62	53,5	56	16	—	—
2	4,995	17,780	5	M 10	14,9	75	64	67	24	—	—
3	5,020	23,825	5	M 12	20,2	94	81	84	28	12	24
4	5,194	31,267	6,5	M 16	26,5	117,5	102,5	107	32	15	32
5	5,263	44,399	6,5	M 20	38,2	149,5	129,5	135	40	18	45
6	5,214	63,348	8	M 24	54,6	210	182	186	50	25	65

CÔNES 5 % (conicité c = 5%)

D	4	6	80	100	120	180	200
a	2	3	8	10	12	16	20
d ₁	—	—	M 30	M 36	M 36	M 48	M 48
d ₂	3	4,6	71,5	90	108,5	145,5	182,5
l	—	—	220	280	300	380	460
l ₁	23	32	196	232	288	340	412
l ₂	25	34	202	240	276	350	424
m	—	—	65	80	80	100	100

Exemples de désignation d'un cône Morse n° 3 et d'un cône 5 % de diamètre de jauge D = 100 :

Cône Morse n° 3. Cône 5 %-100

40.12 Cônes 7/24

Ces cônes réalisent un centrage un peu moins précis que les cônes Morse.

Leur forte conicité (environ 29,2%) ne permet pas l'entraînement de l'outil et nécessite l'adjonction de tenons.

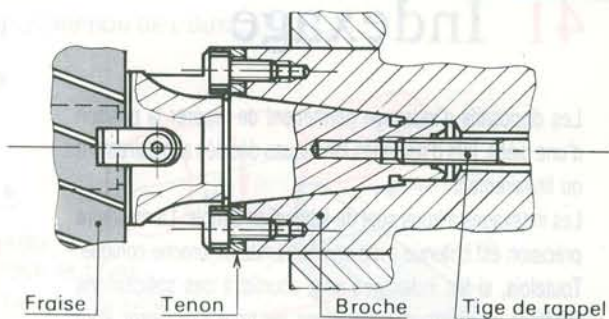
Par contre, le démontage aisé des cônes est très apprécié.

Nez n°	30	40	45	50	55	60
D ₁	31,75	44,45	57,15	69,85	88,90	107,95
D ₂	69,83	88,88	101,60	128,57	152,40	221,44
d	17,4	25,3	32,4	39,6	50,4	60,2
L	73	100	120	140	178	220
a	16	20	20	25	30	30
b	15,9	15,9	19	25,4	25,4	25,4
g	M10	M12	M12	M16	M20	M20
f	54	66,7	80	101,6	120,6	177,8
m	12,5	16	18	19	25	38
n	8	8	9,5	12,5	12,5	12,5
o	16,5	23	30	36	48	61
k	16,5	19,5	19,5	26,5	28,5	45,5

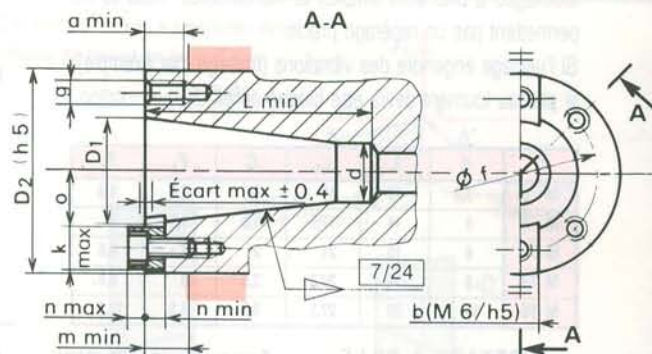
Nez n°	30	40	45	50	55	60
D ₁	31,75	44,45	57,15	69,85	88,90	107,95
d	17,4	25,3	32,4	39,6	50,4	60,2
l	70	95	110	130	168	210
l ₁	48,4	65,4	82,8	101,8	126,8	161,8
l ₂	24	30	38	45	45	58
g	M12	M16	M20	M24	M24	M30
r	16,1	16,1	19,3	25,7	25,7	25,7
t	16,2	22,5	29	35,3	45	60
y	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2	3,2

40.2 Rainures à T NF E 21-301

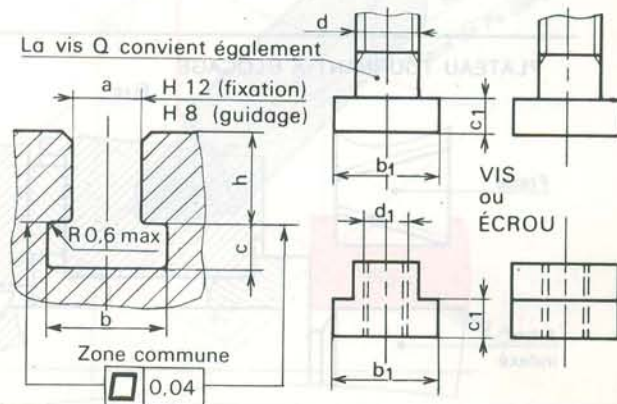
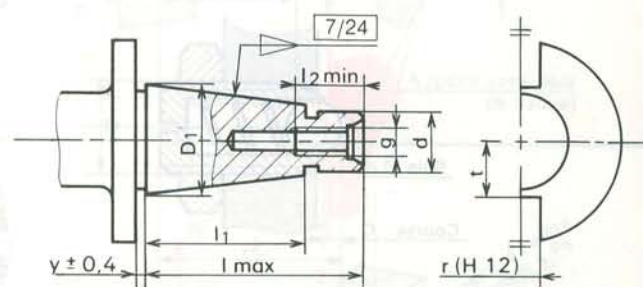
a	b	c	h		b ₁	c ₁	d	d ₁
	min	min	max	min				
6	11	5	8	5	10	4	M 5	—
8	14,5	7	11	7	13	6	M 6	—
10	16	7	14	9	15	6	M 8	M 6
12	19	8	17	11	18	7	M 10	M 8
14	23	9	19	12	22	8	M 12	M 10
18	30	12	24	16	28	10	M 16	M 12
22	37	16	29	20	34	14	M 20	M 16
28	46	20	36	26	43	18	M 24	M 20
36	56	25	46	33	53	23	M 30	M 24
42	68	32	53	39	64	28	M 36	M 30



NEZ DE BROCHES À CONICITÉ 7/24 NF E 60-023



QUEUE D'OUTILS À CONICITÉ 7/24 NF E 60-024



41 Indexage

Les dispositifs d'indexage permettent de repérer la position d'une pièce, lors d'usinages identiques décalés angulairement ou linéairement.

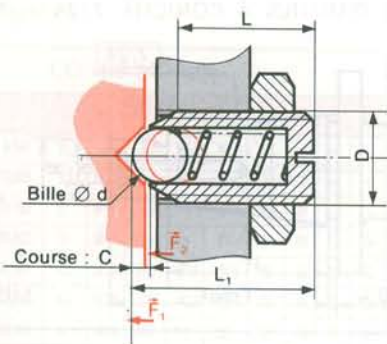
Les indexages à trous sont de fabrication simple. La meilleure précision est obtenue avec une extrémité de broche conique. Toutefois, si les indexages sont soumis à des sollicitations répétées, relativement importantes, les trous s'ovalisent. Pour ces applications, on préfère les indexages à crans. Les indexages à bille sont simples et standardisés* mais ils ne permettent pas un repérage précis.

Si l'usinage engendre des vibrations (fraisage, par exemple), le plateau tournant devra être bloqué après chaque rotation.

D	d	L	L ₁	C	F ₁	F ₂
M 6	3,5	13	15	1	0,9	1,3
M 8	5	14	17,5	1,5	1,5	3
M 10	6	15	21	2	2	3,5
M 12	8	18	24,5	2,5	3	5,5
M 16	10	20	27,5	3,5	6,5	12,5

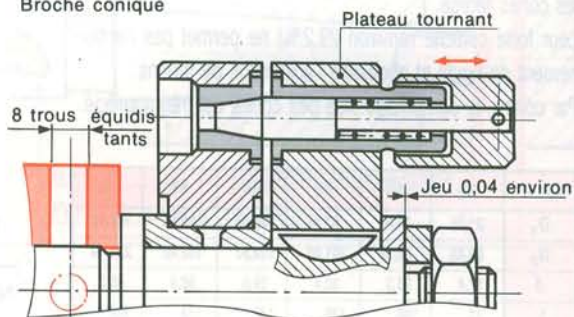
INDEXAGE À BILLE

Forces en décanewtons

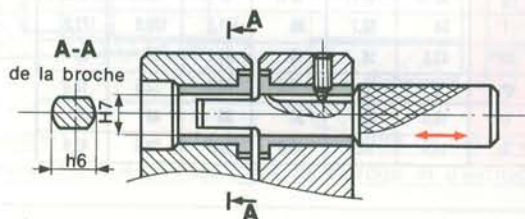


INDEXAGE À TROUS

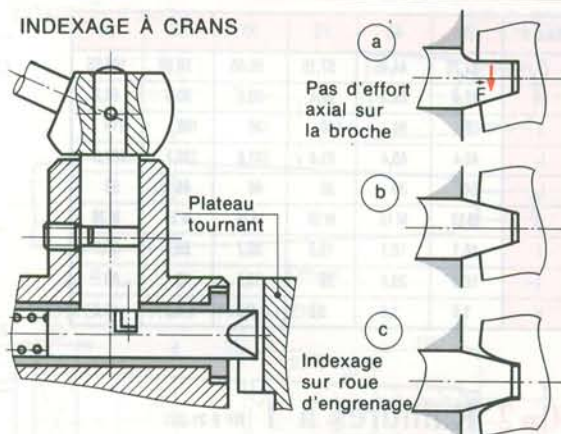
Broche conique



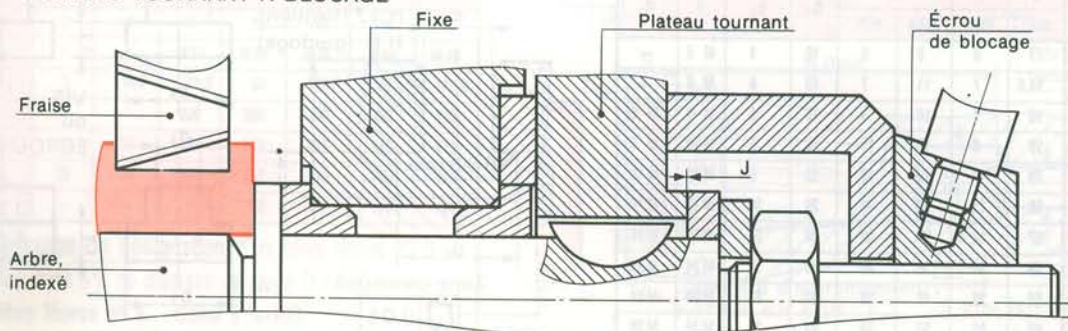
Broche cylindrique



INDEXAGE À CRANS



PLATEAU TOURNANT À BLOCAGE



* Nlm.

42 Géométrie de l'outil de coupe

NF E 66-503

42.1 Description

Un outil coupant est constitué d'un **corps** comportant une ou plusieurs **parties actives**. L'élément essentiel de la partie active est l'arête formée par l'intersection de la face de coupe et de la face de dépouille.

42.2 Outil en main

Outil en travail

Les définitions des plans varient selon que l'on considère l'outil en main (indépendamment de ses diverses possibilités) ou en travail (dans les conditions d'emploi).

42.3 Plans de l'outil en main

La définition précise des angles est effectuée à partir d'un système de référence constitué par trois plans :

1° Plan de référence Pr

C'est un plan passant par le point considéré de l'arête A et contenant l'axe de l'outil (pour les outils tournants) ou parallèle au plan de base servant de face d'appui au corps de l'outil (pour un outil classique de tour).

Pr est perpendiculaire à la direction supposée du vecteur vitesse de coupe $\vec{F}_c$.

2° Plan d'arête Ps

C'est un plan perpendiculaire au plan de référence Pr au point considéré de l'arête A et contenant la tangente à l'arête en ce point.

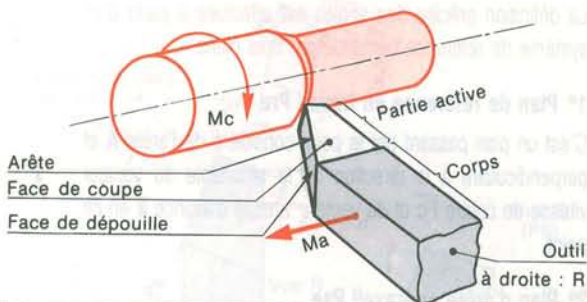
3° Plan de travail conventionnel Pf

C'est un plan perpendiculaire au plan de référence Pr au point considéré de l'arête A et parallèle à l'avance supposée $\vec{a}$ de l'outil.

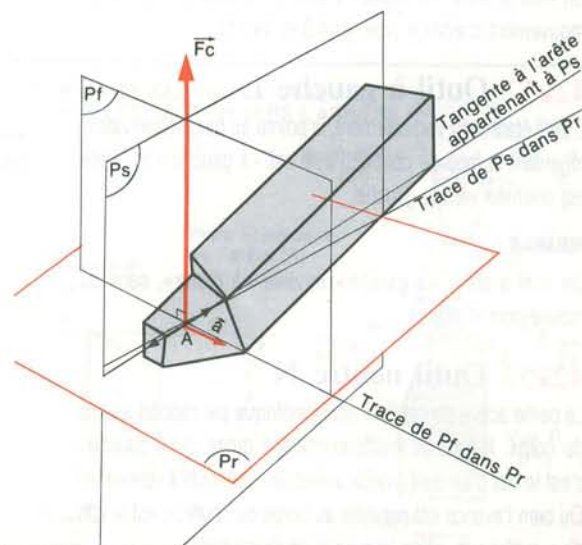
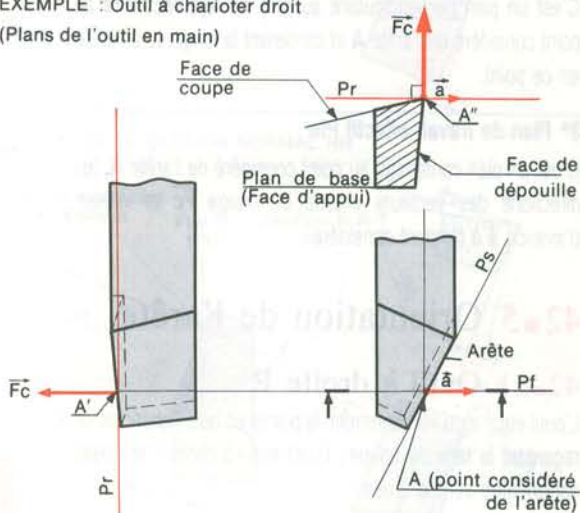
EXEMPLE :

Outil à chariotier droit : Le plan de référence Pr est parallèle au plan de base.

DESCRIPTION DE L'OUTIL



EXEMPLE : Outil à chariotier droit
(Plans de l'outil en main)



42.4 Plans de l'outil en travail

La définition précise des angles est effectuée à partir d'un système de référence constitué par trois plans :

1° Plan de référence en travail Pre

C'est un plan passant par le point considéré de l'arête **A** et perpendiculaire à la direction de la résultante du vecteur vitesse de coupe $\vec{F_c}$ et du vecteur vitesse d'avance $\vec{a}$ en ce point.

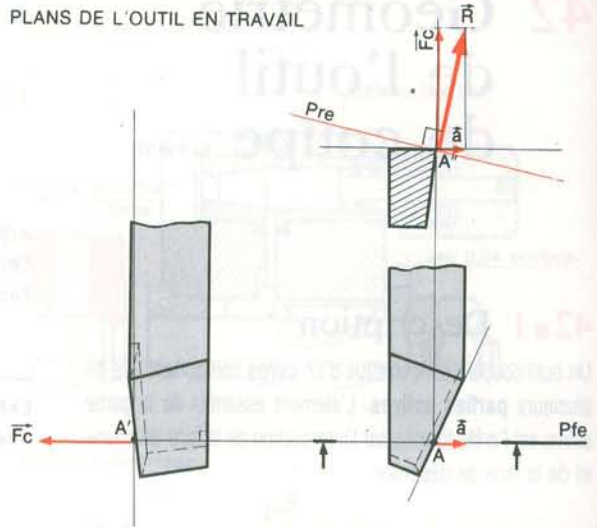
2° Plan d'arête en travail Pse

C'est un plan perpendiculaire au plan de référence Pre au point considéré de l'arête **A** et contenant la tangente à l'arête en ce point.

3° Plan de travail effectif Pfe

C'est un plan contenant, au point considéré de l'arête **A**, les directions des vecteurs vitesse de coupe $\vec{F_c}$ et vitesse d'avance $\vec{a}$ à l'instant considéré.

PLANS DE L'OUTIL EN TRAVAIL



42.5 Orientation de l'arête

42.51 Outil à droite R

L'outil étant tenu verticalement, la pointe en bas, l'observateur regardant la face de coupe ; l'outil est « à droite » si l'arête est orientée vers la droite.

REMARQUE :

Un outil à arête « à droite » travaille « à gauche », sens du mouvement d'avance (voir § 44.9 et 44.11).

42.52 Outil à gauche L

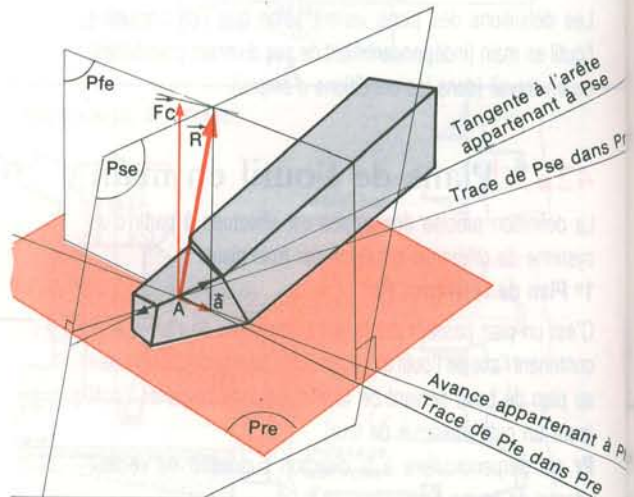
L'outil étant tenu verticalement, la pointe en bas, l'observateur regardant la face de coupe ; l'outil est « à gauche » si l'arête est orientée vers la gauche.

REMARQUE :

Un outil à arête « à gauche » travaille « à droite », sens du mouvement d'avance.

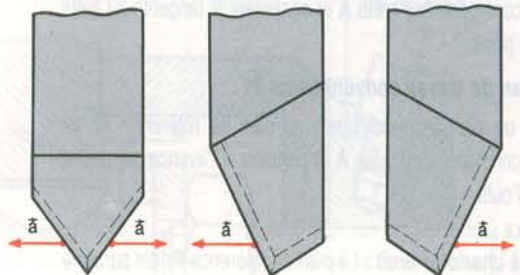
42.53 Outil neutre N

La partie active de cet outil est symétrique par rapport à l'axe du corps. Il travaille indifféremment à droite ou à gauche ; c'est le cas d'un outil à deux arêtes tel que l'outil à retoucher. Ou bien l'avance est parallèle au corps de l'outil ; c'est le cas d'un outil à une arête telle celle de l'outil pelle.



ORIENTATION DE L'ARÊTE DE L'OUTIL

Outil neutre : N Outil à gauche : L Outil à droite : R



42.6 Angles de l'outil en main

42.61 Angles de l'arête

α	Angle de direction d'arête de l'outil
λ_s	Angle d'inclinaison d'arête de l'outil
ψ_r	Angle de direction complémentaire de l'outil
ε_r	Angle de pointe de l'outil

42.62 Angles des faces

Les angles des faces sont définis dans un plan de section donné.

Il existe quatre systèmes d'angles : orthogonaux, normaux, latéraux et vers l'arrière, directs d'affûtage.

42.621 Angles orthogonaux

Les angles orthogonaux (indice **o**) sont mesurés dans un plan de section perpendiculaire à la fois au plan de référence **Pr** et au plan d'arête **Ps**. Ce plan est appelé plan de section orthogonal **OO**.

α_o	Dépouille orthogonale de l'outil
β_o	Angle de taillant orthogonal de l'outil
γ_o	Angle de coupe orthogonal de l'outil

42.622 Angles normaux

Les angles normaux (indice **n**) sont mesurés dans un plan de section normal à l'arête. Ce plan est appelé plan de section normal **NN**.

α_n	Dépouille normale de l'outil
β_n	Angle de taillant normal de l'outil
γ_n	Angle de coupe normal de l'outil

42.623 Angles latéraux et vers l'arrière

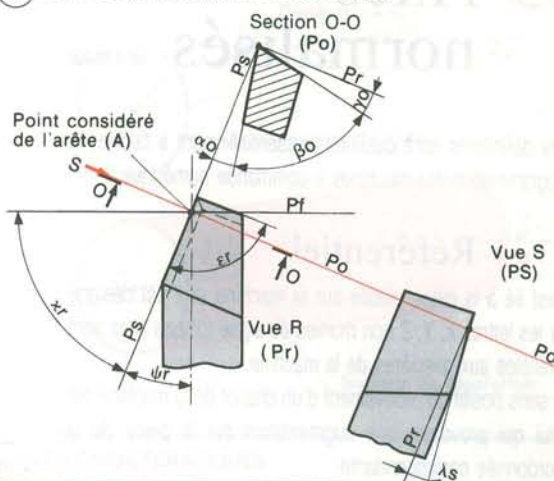
Les angles latéraux (indice **f**) sont mesurés dans le plan conventionnel **Pf**. Ce plan est appelé plan de section latéral **FF** :

α_f	Dépouille latérale de l'outil
β_f	Angle de taillant latéral de l'outil
γ_f	Angle de coupe latéral de l'outil

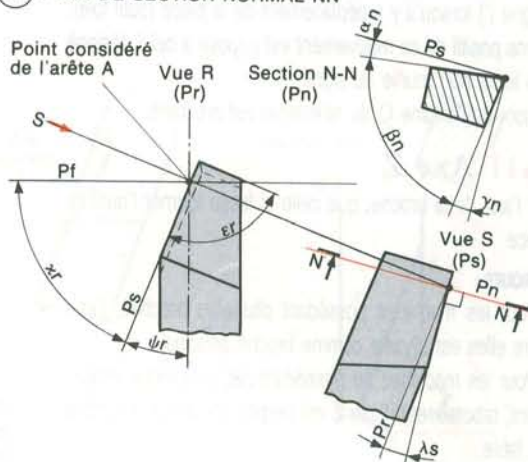
Les angles vers l'arrière (indice **p**) sont mesurés dans un plan perpendiculaire à **Pr** et **Pf**. Ce plan est appelé plan de section vers l'arrière **PP**.

α_p	Dépouille vers l'arrière de l'outil
β_p	Angle de taillant vers l'arrière de l'outil
γ_p	Angle de coupe vers l'arrière de l'outil

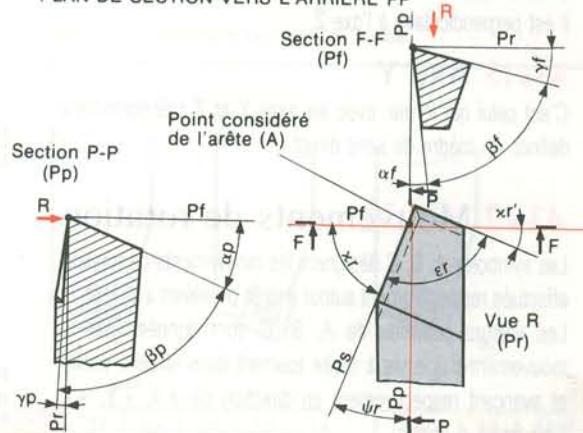
1 PLAN DE SECTION ORTHOGONAL OO



2 PLAN DE SECTION NORMAL NN



3 PLAN DE SECTION LATÉRAL FF PLAN DE SECTION VERS L'ARRIÈRE PP



43 Axes normalisés

NF Z 68-020

Ces définitions sont destinées essentiellement à faciliter la programmation sur machines à commande numérique.

43.1 Référentiel

Il est lié à la pièce placée sur la machine et il est désigné par les lettres X, Y, Z non munies du signe (''). Les axes sont parallèles aux glissières de la machine.

Le sens positif du mouvement d'un chariot de la machine est celui qui provoque une augmentation sur la pièce de la coordonnée correspondante.

Sur la machine, les axes sont désignés par des lettres munies du signe (') lorsqu'il y a déplacement de la pièce (outil fixe). Le sens positif de ce mouvement est opposé à celui désigné par la lettre non munie du signe (').

Le choix de l'origine O du référentiel est arbitraire.

43.1.1 Axe Z

C'est l'axe de la broche, que celle-ci fasse tourner l'outil ou la pièce.

REMARQUES :

- Pour les machines possédant plusieurs broches, l'une d'entre elles est choisie comme broche principale.
- Pour les machines ne possédant pas de broche (étaux-limeurs, raboteuses), l'axe Z est perpendiculaire à la surface de la table.

43.1.2 Axe X

C'est un axe correspondant à un mouvement de la machine, il est perpendiculaire à l'axe Z.

43.1.3 Axe Y

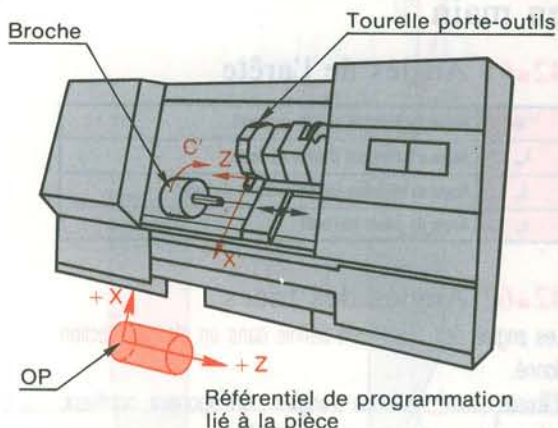
C'est celui qui forme, avec les axes X et Z précédemment définis, un trièdre de sens direct.

43.2 Mouvements de rotation

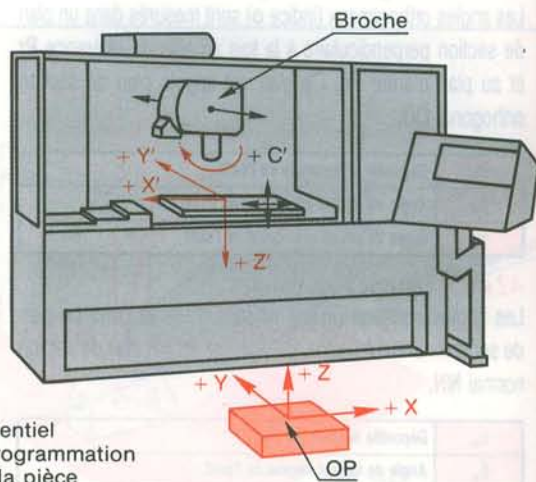
Les symboles A, B, C désignent les mouvements de rotation effectués respectivement autour d'axes parallèles à X, Y et Z. Les valeurs positives de A, B, C sont données par le mouvement d'une vis à droite tournant dans le sens positif et avançant respectivement en direction de +X, +Y, +Z (voir figure ci-contre).

* Lire « prime »

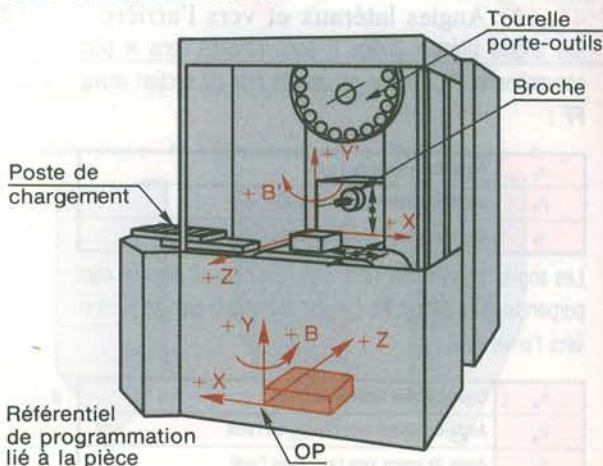
TOUR CN



FRAISEUSE VERTICALE CN



CENTRE HORIZONTAL CN



44 Tournage

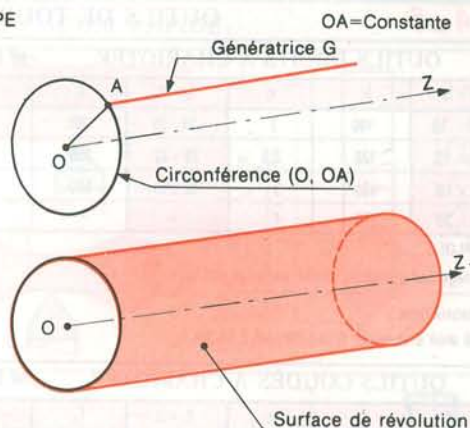
Le tournage est un procédé d'usinage permettant l'obtention de surfaces de révolution intérieures et extérieures, de surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par filetage, gravure, détalonnage, etc.

44.1 Surfaces de révolution

Une surface de révolution est engendrée par une ligne G (génératrice) tournant autour d'un axe OZ auquel elle est invariablement liée.

Tout point de la génératrice décrit une circonférence ayant son centre sur l'axe et dont le plan est perpendiculaire à l'axe.

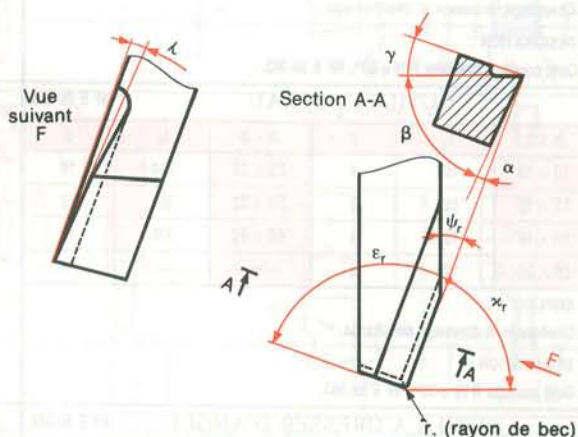
PRINCIPE



44.2 Angles caractéristiques de l'outil de coupe

Symbole	Désignation
α	Dépouille
β	Angle de taillant
γ	Angle de coupe
λ	Angle d'inclinaison de l'arête
κ_r	Angle de direction d'arête
ψ_r	Angle de direction complémentaire
ϵ_r	Angle de pointe

ANGLES CARACTÉRISTIQUES



44.3 Formes du bec

La forme du bec influence l'état de surface (§ 44.114).

Les principales formes sont :

- l'intersection vive,
- le rayon,
- le plat.

Symbole	Désignation
r_e	Rayon nominal de l'arrondi du bec
b_e	Largeur nominale du chanfrein du bec

Voir chapitre 42 : Géométrie de l'outil de coupe

BEC DE L'OUTIL

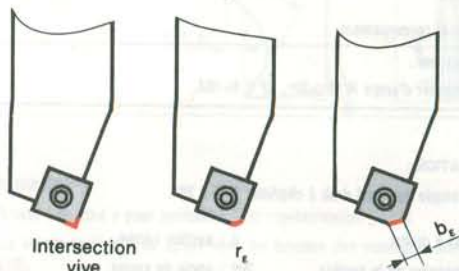
44.4 Rayons de becs

La valeur du rayon de bec est mesurée dans le plan de référence Pr (voir § 42.3).

REMARQUES :

- Pour les plaquettes amovibles, il est préférable d'utiliser le rayon 2,4 (standard) plutôt que le rayon 2,5.
- La valeur du rayon de bec influence le choix de la vitesse d'avance (voir § 44.114).

* Prononcer : κ kappa - ψ psi - ϵ epsilon.



r_e	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,5	3,2
-------	-----	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----

44 ■ 5

OUTILS DE TOUR A MISE EN ACIER RAPIDE

OUTILS DROITS A CHARIOTER

NF E 66-361

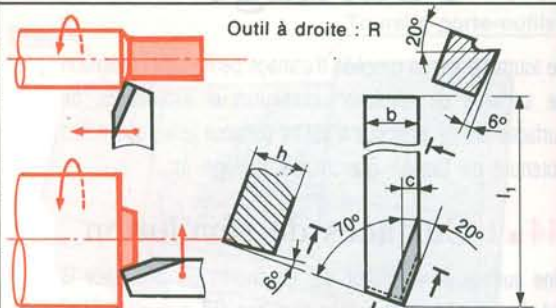
$h \times b$	l_1	c	$h \times b$	l_1	c
10 × 10	100	2	25 × 25	200	5
12 × 12	125	2,5	32 × 32	250	6
16 × 16	150	3	40 × 40	300	8
20 × 20	175	4	—	—	—

EMPLOI :

Usinage des cylindres, cônes, surfaces planes.

DÉSIGNATION :

Outil droit à charioter R 16 q-20°, NF E 66-361.



OUTILS COUDÉS A CHARIOTER

NF E 66-362

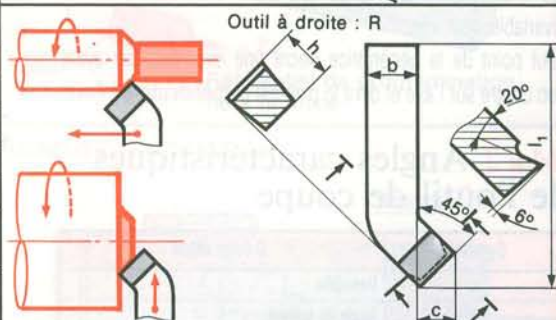
$h \times b$	l_1	c	$h \times b$	l_1	c
10 × 10	100	7	25 × 25	200	17
12 × 12	125	9	32 × 32	250	23
16 × 16	150	12	40 × 40	300	29
20 × 20	175	14	—	—	—

EMPLOI :

Chariotage, dressage et chanfreinage.

DÉSIGNATION :

Outil coudé à charioter R 16 q-20°, NF E 66-362.



OUTILS COUPEAU

NF E 66-363

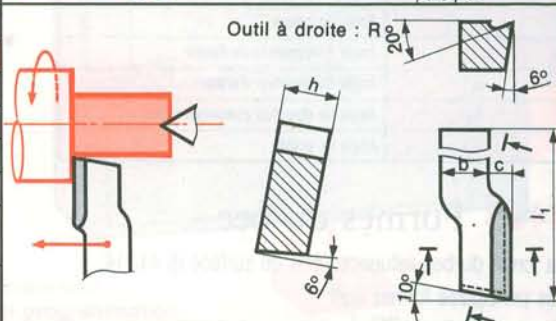
$h \times b$	l_1	c	$h \times b$	l_1	c
10 × 10	100	4	25 × 25	200	10
12 × 12	125	5	32 × 32	250	12
16 × 16	150	6	40 × 40	300	16
20 × 20	175	8	—	—	—

EMPLOI :

Chariotage et dressage simultanés.

DÉSIGNATION :

Outil coupeau R 16 q-20°, NF E 66-363.



OUTILS A DRESSER D'ANGLE

NF E 66-364

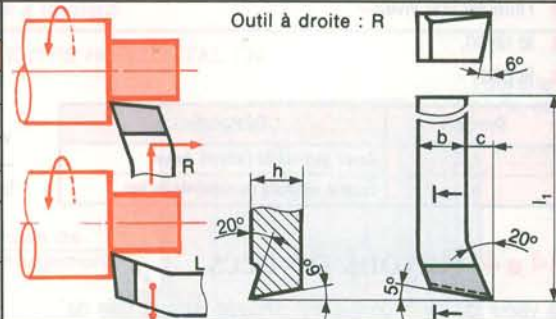
$h \times b$	l_1	c	$h \times b$	l_1	c
10 × 10	100	5	25 × 25	200	12
12 × 12	125	6	32 × 32	250	16
16 × 16	150	8	40 × 40	300	20
20 × 20	175	10	—	—	—

EMPLOI :

Dressage et raccordement.

DÉSIGNATION :

Outil à dresser d'angle R 16 q-20°, NF E 66-364.



DÉSIGNATION :

Soit l'exemple de l'outil droit à charioter R 16 q 20°.

R : outil à droite.

q : section carrée.

16 : dimension de la section.

20° : angle de coupe.

REMARQUES :

- L'outil à gauche a pour symbole L (voir représentation § 42.5).
- La valeur de l'angle de coupe varie en fonction des matériaux (voir § 46.10).

44 ■ 6

OUTILS DE TOUR A MISE EN ACIER RAPIDE

OUTIL A RETOUCHER

NF E 66-365

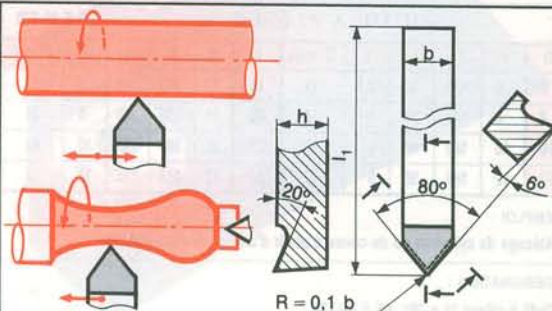
$h \times b$	l_1	$h \times b$	l_1
10 x 10	100	25 x 25	200
12 x 12	125	32 x 32	250
16 x 16	150	40 x 40	300
20 x 20	175	—	—

EMPLOI :

Chariotage finition, copiage.

DÉSIGNATION :

Outil à retoucher 16 q-20°, NF E 66-365.



OUTIL PELLE

NF E 66-366

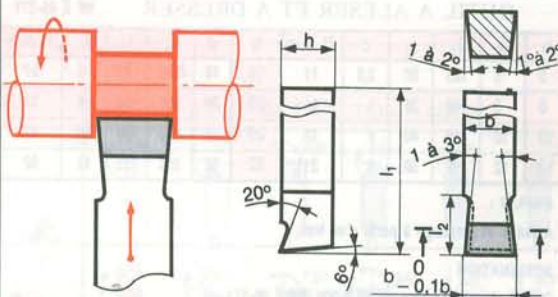
$h \times b$	l_1	l_2	$h \times b$	l_1	l_2
10 x 10	100	10	25 x 25	200	25
12 x 12	125	12	32 x 32	250	32
16 x 16	150	16	40 x 40	300	40
20 x 20	175	20	—	—	—

EMPLOI :

Rainurage de grande dimension.

DÉSIGNATION :

Outil pelle 16 q-20°, NF E 66-366.



OUTIL A SAIGNER

NF E 66-367

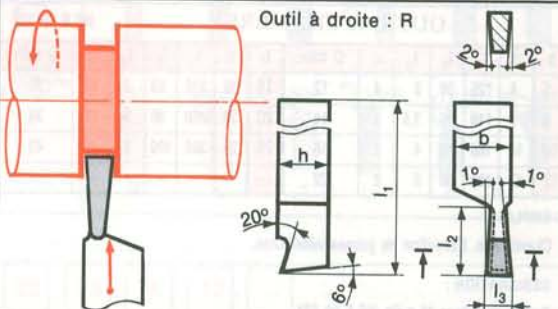
$h \times b$	l_1	l_2	l_3	$h \times b$	l_1	l_2	l_3
10 x 10	100	12	4	25 x 25	200	32	8
12 x 12	125	16	4	32 x 32	250	40	10
16 x 16	150	20	5	40 x 40	300	50	12
20 x 20	175	25	6	—	—	—	—

EMPLOI :

Rainurage de petite dimension.

DÉSIGNATION :

Outil à saigner R 16 q-20°, NF E 66-367.



OUTIL A TRONÇONNER

NF E 66-368

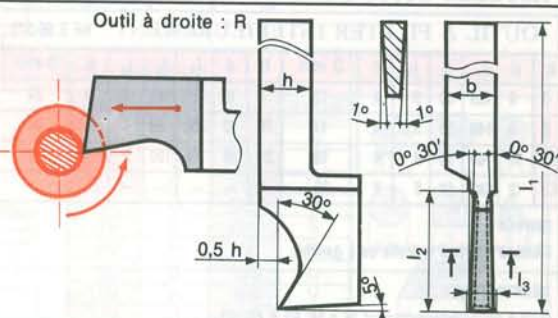
$h \times b$	l_1	l_2	l_3	$h \times b$	l_1	l_2	l_3
10 x 10	100	25	4	20 x 20	175	45	6
12 x 12	125	30	4	25 x 25	200	55	7
16 x 16	150	35	5	30 x 30	250	70	8

EMPLOI :

Tronçonnage.

DÉSIGNATION :

Outil à tronçonner R 16 q-30°, NF E 66-368.



DÉSIGNATION :

Soit l'exemple de l'outil à saigner R 16 q-20°.

R : outil à droite.

16 : dimension de la section.

q : section carrée.

20° : angle de coupe.

REMARQUES :

■ L'outil à gauche a pour symbole L (voir représentation § 42.5).

■ La valeur de l'angle de coupe varie en fonction des matériaux usinés (voir § 46.10).

44 ■ 7

OUTILS DE TOUR A MISE EN ACIER RAPIDE

OUTIL A ALÉSER

NF E 66-370

b	d	l ₁	l ₂	c	D min	b	d	l ₁	l ₂	c	D min
6	6	125	30	2,5	11	16	16	210	63	6	27
8	8	140	35	3	14	20	20	250	80	8	34
10	10	160	40	4	18	25	25	300	100	10	43
12	12	180	50	5	21	32	32	355	125	12	52

EMPLOI :

Alésage de cylindres ou de cônes à partir d'un trou brut ou ébauché.

DÉSIGNATION :

Outil à aléser 16 q-20°, NF E 66-370.

OUTIL A ALÉSER ET A DRESSER

NF E 66-371

b	d	l ₁	l ₂	c	D min	b	d	l ₁	l ₂	c	D min
6	6	125	30	2,5	11	16	16	210	63	6	27
8	8	140	35	3	14	20	20	250	80	8	34
10	10	160	40	4	18	25	25	300	100	10	43
12	12	180	50	5	21	32	32	355	125	12	52

EMPLOI :

Alésage et dressage à partir d'un trou.

DÉSIGNATION :

Outil à aléser et à dresser 16 q-20°, NF E 66-371.

OUTIL A CHAMBRER

NF E 66-372

b	d	l ₁	l ₂	l ₃	c	D min	b	d	l ₁	l ₂	l ₃	c	D min
6	6	125	30	3	4	12	16	16	210	63	6	10	28
8	8	140	35	3,5	5	14	20	20	250	80	8	12	35
10	10	160	40	4	6	18	25	25	300	100	9	16	43
12	12	180	50	5	8	22	—	—	—	—	—	—	—

EMPLOI :

Chambrage. Exécution de gorges intérieures.

DÉSIGNATION :

Outil à chambrer 16 q-5°, NF E 66-372.

OUTIL A FILETER INTÉRIEUREMENT

NF E 66-373

b	d	l ₁	l ₂	l ₃	c	D min	b	d	l ₁	l ₂	l ₃	c	D min
6	6	125	30	3	4	12	16	16	210	63	6	10	28
8	8	140	35	3,5	5	14	20	20	250	80	8	12	35
10	10	160	40	4	6	18	25	25	300	100	9	16	43
12	12	180	50	5	8	22	—	—	—	—	—	—	—

EMPLOI :

Filetage intérieur à droite ou à gauche.

DÉSIGNATION :

Outil à fileter intérieurement 16 q-5°, NF E 66-373.

DÉSIGNATION :

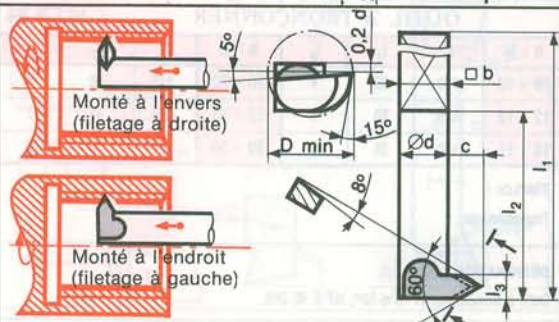
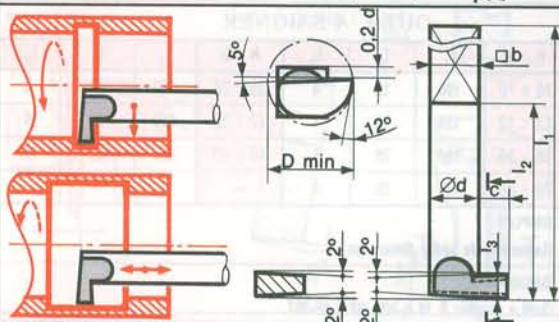
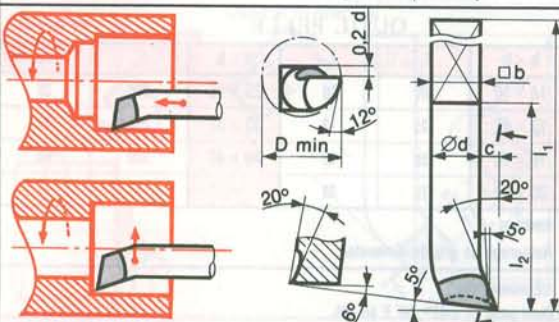
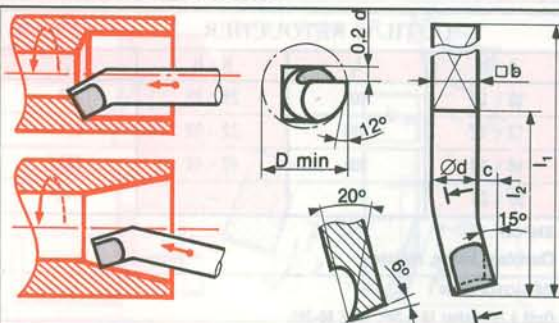
Soit l'exemple de l'outil à aléser : R 16 q-20°.

R : outil à droite.

16 : dimension de la section.

q : section carrée.

20° : angle de coupe.



REMARQUES :

■ L'outil ayant une section ronde a pour symbole r. Son diamètre est égal à d.

■ La valeur de l'angle de coupe varie en fonction des matériaux usinés (voir § 46.10).

44.9 Choix d'un porte-plaquette

La forme de la pièce à usiner est un critère déterminant pour le choix d'un type d'outil.

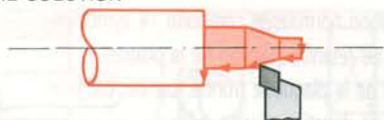
Le tableau ci-dessous permet le choix d'un porte-plaquette à partir de cinq opérations élémentaires :

REMARQUE :

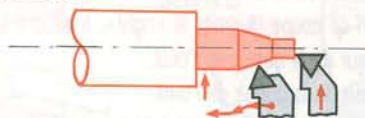
L'usinage de la pièce ci-contre comporte deux possibilités :

- La première conduit au choix d'un seul outil PCLN,
- La deuxième conduit au choix de deux outils PTGN et PTFN.

PREMIÈRE SOLUTION



DEUXIÈME SOLUTION



CHOIX D'UN PORTE-OUTIL D'USINAGE EXTÉRIEUR en fonction de l'opération à effectuer

Type d'outil														
Désignation	PRGN	PCLN	PDJN	PTJN	PTGN	PSBV	PCBN	PTTN	PNTN	PTDN	PSDN	PSSN	PSKN	PTFN
Angle de direction d'arête (α_r)	—	95°	93°	93°	90°	75°	75°	60°	60°	45°	45°	45°	75°	90°
Chariotage		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Remontée de face		X	X	X	X									
Copiage : pente ascendante	75°	X	X	X	X	X								
	60°	X	X	X	X	X	X							
	45°	X	X	X	X	X	X	X	X					
	30°	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Copiage : pente descendante	75°													
	60°													
	45°								X	X				
	30°	X		X				X	X	X	X	X		
Dressage de face	25°	X		X	X			X	X	X	X	X	X	X
Plaquettes	δ	—	5°	—	—	—	—	60°	—	45°	—	45°	15°	0°
		RNMG	CNND CNMG CNMM CNMM-71	DNMG DNMG 71	TNMA TNMG TNMG-61 TNMM TNMM-71 TNMX	TNMA TNMG TNMG-61 TNMM TNMM-71 TNMX	SNMA SNMG SNMM SNMM-71 SNMX	CNMA CNMG CNMM CNMM-71	TNMA TNMG TNMG-61 TNMM TNMM-71	TNMA TNMG TNMG-61 TNMM TNMM-71	TNMA TNMG TNMG-61 TNMM TNMM-71	SNMA SNMG SNMM SNMM-71 SNMX	SNMA SNMG SNMM SNMM-71 SNMX	SNMA SNMG SNMM SNMM-71 SNMX

44.10

CHOIX DES NUANCES DE CARBURE EN TOURNAGE

Code ISO et matière	Nuance Sandvik	Nuance ISO	Usinage	Nuance Sandvik	Nuance ISO	Usinage
P (bleu) Acier Ac. coulé Ft malleable à copeaux longs			Nuances de base			Nuances complémentaires
	S1P	P 10 P 01	Finition et léger dégrossissage d'acier et d'acier coulé dans des conditions favorables à vitesses de coupe élevées et avances modérées. De préférence à utiliser sans liquide de coupe. Recommandée pour le copiage et le filetage.	S 4	P 30 P 40	Dégrossissage moyen à fort de l'acier et de l'acier coulé à vitesses de coupe assez faibles et avances importantes, dans des conditions de travail défavorables.
	GC 015	P 15 P 10 P 20 P 30	Finition et dégrossissage léger d'acier, d'acier coulé, de fontes malleables et nodulaires à copeaux longs. La très grande résistance à l'usure permet un débit d'usinage important pour une plage d'application très large.	S 6	P 40 P 30	Grosse ébauche d'acier, d'acier inoxydable et d'acier coulé dans des conditions défavorables, à faibles vitesses de coupe, avance importante et grande profondeur de coupe.
	GC 1025	P 25 P 10 P 20 P 30	Léger et moyen dégrossissage d'acier coulé, de fontes malleables et nodulaires à vitesses de coupe élevées et avances relativement importantes. Très grande résistance à l'usure.	F 02	P 01	Finition de l'acier et de l'acier coulé à de très grandes vitesses et faibles avances dans des conditions de travail stables.
	GC 135	P 35 P 20 P 30 P 40	Dégrossissage moyen à fort de l'acier, d'acier coulé et de fontes malleables et nodulaires. Peut être utilisée dans des conditions défavorables à vitesses et avances relativement élevées. Très grande résistance à l'usure. Excellente nuance universelle pour l'usinage de l'acier.	S 2	P 20 P 10	Dégrossissage léger et moyen de l'acier et de l'acier coulé à vitesses de coupe et avances moyennes dans des conditions de travail moins favorables. Recommandée pour le copiage.
				R 4	M 40 P 50	Dégrossissage fort de l'acier et de l'acier coulé dans des conditions défavorables à des vitesses de coupe faibles, et avance importante.
M (jaune) Acier Ac. coulé Ac. au Mn Ft allié Ac. austénitiques Ft malleable Acier de décolletage			Nuances de base			Nuances complémentaires
	R1p	M 10	Finition et ébauche légères d'alliages résistants aux hautes températures et d'aciers inoxydables tels que ceux utilisés pour les réacteurs nucléaires. Très grande résistance à l'usure en entaille, vitesse de coupe relativement élevée et avance moyenne.	GC 135	P 35 M 10 M 20 M 30	Dégrossissage léger à fort d'acier inoxydable forgé ou laminé avec une structure austénitique. Vitesses et avances relativement élevées. Convient à certains types d'acier de décolletage.
	GC 315	P 35 M 10 M 20 M 30	Finition et léger dégrossissage d'alliages réfractaires; arête de coupe très résistante. Vitesses de coupe relativement élevées et avances modérées. Grande résistance à l'usure.	S 6	P 40 M 30 M 40	Dégrossissage léger à fort d'aciers inoxydables austénitiques et matériaux inoxydables avec croûte de coulée ou de laminage, dans des conditions d'usinage difficiles.
	H 20	K 20 M 20 M 30	Dégrossissage léger à fort d'alliages réfractaires. Dans des conditions difficiles d'usinage. Résistance très élevée de l'arête de coupe.			Nuances pour applications spéciales
	R 4	M 40 P 50	Finition et ébauche d'aciers coulés et austénitiques inoxydables et d'aciers inoxydables avec croûte de coulée ou de laminage. Vitesses de coupe basses et avances importantes. Très résistante à la destruction de l'arête lors d'usinage intermittent.	SH	M 20 M 10 M 30	Fort dégrossissage d'aciers et d'aciers coulés, d'aciers au Mn et de fontes alliées malleables donnant des copeaux longs. Convient particulièrement pour le reprofilage des roues de chemin de fer.
K (rouge) Ft centrifugée Ft coulée en coquille Ft malleable à copeaux courts Ac. trempé Métaux non ferreux Plastiques Bois			Nuances de base			Nuances complémentaires
	H 1P	H 10 K 01 K 20	Finition et léger dégrossissage de la fonte, de la fonte allié, du bronze et du laiton à vitesses relativement grandes et avances modérées.	GC 1025	P 25 K 10 K 20	Dégrossissage léger à moyen de fonte faiblement allié à vitesse de coupe et avance relativement élevées. Très grande résistance à l'usure.
	GC 015	K 15 K 10 K 20	Finition et dégrossissage léger de fontes grises de faible et de haute résistance, de fonte malleable et nodulaire. Surtout recommandée pour les fontes modernes faiblement alliées. La très grande résistance à l'usure permet un débit d'usinage très important et donne le meilleur résultat lors de l'utilisation de plaquettes avec brise-copeaux incorporés.	H 20	K 20 K 30	Grosse ébauche de la fonte. Conditions défavorables à faibles vitesses et avances importantes.
						Nuances pour applications spéciales
	GC 315	K 15 K 10 K 20	Nuance universelle pour l'usinage de la fonte et autres matériaux donnant des copeaux courts dans des conditions peu favorables, à vitesses de coupe relativement élevées et avances importantes. Très grande résistance à l'usure.	H 05	K 01	Finition de la fonte. Convient pour la fonte trempée en coquilles plastiques, etc.
				H 10	K 10	Convient pour l'usinage de l'aluminium.

NOTA : Utiliser de préférence les nuances en caractères gras.

44.11 Plaquettes carbure

44.111 Désignation normalisée

La désignation normalisée comporte 9 symboles :

- 1 : Forme (ronde, carrée, etc.).
- 2 : Angle de dépouille.
- 3 : Tolérances.
- 4 : Type de plaquette (réversible ou non, coupe positive ou nulle, pleine ou comportant un trou de fixation).
- 5 : Dimension de l'arête.
- 6 : Épaisseur (s).
- 7 : Rayon.
- 8 : 9 : Symboles complémentaires (selon le fabricant).

T : Plaquette triangulaire.

P : Dépouille = 11°.

M : Tolérances : sur s = $\pm 0,13$
sur m = $\pm 0,18$.

R : Non réversible et coupe positive.

16 : Dimension de l'arête = 16 mm.

03 : Épaisseur = 3 mm.

08 : Rayon = 0,8 mm.

S : Coupe négative + rayon.

N : Neutre (pouvant être monté sur un outil à droite R ou à gauche L).

Exemple de désignation : T P M R 16 03 08 S N



1 FORME DE PLAQUETTE							2 ANGLE DE DÉPOUILLE			3 TOLÉRANCES ($\pm$ --- mm)																																																														
 H O P R S T C D E M V L A B K							 A B C D E F G N P			<table><thead><tr><th></th><th>m</th><th>s</th><th>d</th><th></th><th>m</th><th>s</th><th>d</th></tr></thead><tbody><tr><td>A</td><td>0,005</td><td>0,025</td><td>0,025</td><td>J</td><td>0,005</td><td>0,025</td><td>0,13</td></tr><tr><td>F</td><td>0,005</td><td>0,025</td><td>0,013</td><td>K</td><td>0,013</td><td>0,025</td><td>0,13</td></tr><tr><td>C</td><td>0,013</td><td>0,025</td><td>0,025</td><td>L</td><td>0,025</td><td>0,025</td><td>0,13</td></tr><tr><td>H</td><td>0,013</td><td>0,025</td><td>0,013</td><td>M</td><td>0,18</td><td>0,13</td><td>0,13</td></tr><tr><td>E</td><td>0,025</td><td>0,025</td><td>0,025</td><td>U</td><td>0,38</td><td>0,13</td><td>0,25</td></tr><tr><td>G</td><td>0,025</td><td>0,13</td><td>0,025</td><td></td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr></tbody></table> d : $\varnothing$ du centre inscrit s : épaisseur m : dimension suivant figures								m	s	d		m	s	d	A	0,005	0,025	0,025	J	0,005	0,025	0,13	F	0,005	0,025	0,013	K	0,013	0,025	0,13	C	0,013	0,025	0,025	L	0,025	0,025	0,13	H	0,013	0,025	0,013	M	0,18	0,13	0,13	E	0,025	0,025	0,025	U	0,38	0,13	0,25	G	0,025	0,13	0,025		—	—	—
	m	s	d		m	s	d																																																																	
A	0,005	0,025	0,025	J	0,005	0,025	0,13																																																																	
F	0,005	0,025	0,013	K	0,013	0,025	0,13																																																																	
C	0,013	0,025	0,025	L	0,025	0,025	0,13																																																																	
H	0,013	0,025	0,013	M	0,18	0,13	0,13																																																																	
E	0,025	0,025	0,025	U	0,38	0,13	0,25																																																																	
G	0,025	0,13	0,025		—	—	—																																																																	
T P M R 16 03 08 S N 1 2 3 4 5 6 7 8 9																																																																								
4 TYPE DE PLAQUETTE		5 GRANDEUR DE LA PLAQUETTE		6 ÉPAISSEUR		7 RAYON		8 ARÊTE DE COUPE		9 EXÉCUTION																																																														
 X Exécution spéciale		 Si le symbole n'a qu'un seul chiffre, un 0 (zéro) doit le précéder. Ex. : l = 9,52 mm soit 09		 Si le symbole n'a qu'un seul chiffre, un 0 (zéro) doit le précéder. Ex. : s = 4,75 mm soit : 04		 Rayon en 1/10 mm 00 Plaquette ronde 00 Angle vif 02 0,2 mm 04 0,4 mm 05 0,5 mm 08 0,8 mm 10 1,0 mm 12 1,2 mm 15 1,5 mm 16 1,6 mm 24 2,4 mm 32 3,2 mm 40 4,0 mm		 F E T S		 R N																																																														

CHOIX DES PLAQUETTES CARBURE en fonction de la matière usinée et des conditions de coupe

Forme																											
Désignation		D N M G	D N M M-71	T N M A	T N M G-61	T N M M-71	T N M X	C N M A	C N M G	C N M M-71	S N M A	S N M G	S N M X	R N M G	R N M X	T N M R-21	T N M R	T N M R	S N M R	K N U X-13	K N U X-12	K N U X-13					
Nombre d'arêtes de coupe		4	2	6	6	6	3	3	3	4*	4*	2*	2*	8	8	4	4	—	—	3	3	3	4	2	2	2	
1	Matières usinées	1-1 Copeaux longs	4	5	1	4	4	4	5	2	1	4	4	5	1	4	4	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5
		1-2 Copeaux courts	3	3	5	3	3	3	3	1	5	3	3	3	5	3	3	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3
		1-3 Ac. Inox. et Ac. réfractaires	1	5	1	3	3	3	5	4	1	3	3	5	1	3	3	5	1	3	2	2	2	2	4	4	4
		1-4 Métaux mous (Al. Cu., etc.)	1	5	0	2	2	2	5	1	0	2	2	5	0	2	2	1	0	1	2	2	2	2	3	3	3
		1-5 Allages durs (HB 400)	2	2	4	2	2	3	2	0	5	3	4	3	5	3	4	1	4	5	1	1	1	2	3	3	3
2	Possibilités de rupture pour les matières 1-1 et 1-3 lors de :	2-1 Finition : a : 0,1-0,3 p : 0,5-2	4	2	0	2	5	3	2	2	0	2	3	2	0	2	3	2	2	4	4	5	5	4	4	2	0
		2-2 Ébauche légère a : 0,2-0,5 p : 2-4	5	4	0	3	3	5	4	4	0	3	5	4	0	3	5	4	3	4	4	2	2	4	3	5	4
		2-3 Ébauche a : 0,4-1 p : 4-10	4	5	1	2	0	4	5	0	1	3	4	5	1	3	4	1	3	4	0	0	0	0	1	3	5
		2-4 Ébauche importante a > 1 p : 6-20	1	1	3	0	0	4	3	0	3	0	5	4	3	0	5	0	3	4	0	0	0	0	0	0	1
3	Usage intermittent	2	4	3	2	2	3	4	2	3*	2*	3*	4*	4	3	4	3	4	5	2	2	2	3	3	3	3	
4	Risque de vibrations	1	5	1	3	4	3	5	4	1	3	3	5	1	2	2	3	0	1	4	4	4	4	5	5	5	
5	Puissance limitée	1	5	1	3	4	3	5	4	1	3	3	5	1	3	3	4	1	2	4	4	4	4	5	5	5	
Type d'outil correspondant		T max P														T max S				Copiage T max							

* Plaquette réversible

D'après Sandvik. 45100 - Orléans.

44.112 Choix des plaquettes carbure

Le choix du type d'outil et la forme de la plaquette étant déterminés à l'aide du tableau § 44.92, le choix final du type de plaquette est réalisé à l'aide du tableau ci-dessus.

Les qualités des plaquettes pour un critère déterminé sont caractérisées par un chiffre variant de 0 à 5 :

- 0 : éviter l'emploi,
- 5 : bonnes caractéristiques.

Méthode de choix

1° Choisir les types de plaquettes qui correspondent le mieux à la matière usinée.

2° Estimer les autres facteurs importants (exemple : ébauche).

3° Choisir, en fonction des notes chiffrées, le type de plaquette qui correspond le mieux.

EXEMPLE :

Soit à réaliser une opération d'ébauche ($a = 0,5$; $p = 5$), sur une pièce en alliage d'aluminium, à l'aide d'un outil équipé d'une plaquette triangulaire.

L'examen du tableau montre que les plaquettes TNMM-71 conviennent parfaitement.

44.113 Choix de la longueur de l'arête l d'une plaquette carbure

1° Calculer la plus grande profondeur de passe à effectuer sur la pièce à usiner. Par exemple, pour une pièce à ébaucher en plusieurs passes, il faut déterminer la profondeur de passe maximale en fonction de la puissance disponible sur la machine (voir le calcul de la puissance absorbée § 44.14).

2° Déterminer la longueur effective de tranchant L selon l'angle de direction d'arête α_r et la profondeur de coupe p :

$$L = \frac{p}{\cos(90^\circ - \alpha_r)}$$

APPLICATION :

$$p = 3; \alpha_r = 30^\circ$$

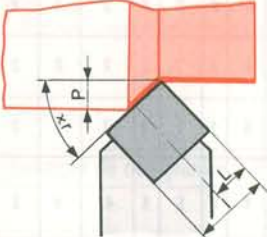
$$L = \frac{3}{\cos 60^\circ} = 6 \text{ mm.}$$

3° Choisir dans le deuxième tableau ci-dessous une plaquette ayant une longueur d'arête nominale l supérieure à la longueur L calculée.

REMARQUE :

S'il y a un grand risque de rupture de la plaquette, il faut choisir une plaquette plus grande et plus épaisse.

DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR EFFECTIVE (L) en fonction de la profondeur de coupe (p) et de l'angle (α_r)

	Angle de direction d'arête (α_r)	Profondeur de coupe (p) mm										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
		Longueur effective du tranchant (L) mm										
	90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
	75	1,1	2,1	3,1	4,2	5,2	6,2	7,3	8,3	9,3	11	16
	60	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8	7	8,2	9,3	11	12	18
	45	1,4	2,9	4,3	5,7	7,1	8,5	10	12	13	15	22
	30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
	15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

CHOIX DE LA LONGUEUR D'ARÊTE NOMINALE (l) en fonction de la forme et de la longueur effective (L)

Forme	Désignation*	Longueur d'arête nominale (l) mm									
		6	9	11	12	15	16	19	22	25	33
		Longueur effective maximale de tranchant (L) mm									
55° 	DNMG					8					
	TNMA						8		10		13 15
	TNMG						8		10		13 15
	TNMM						8		10		13 15
	TNMX								10		
	CNMA				8			12			
	CNMG				8			12			
	CNMM				8			12			
	SNMA		6		8			12		16	
	SNMG		6		8			12		16	
	SNMM		6		8			12		16	
	SNMX		—		8			12		16	
	TPMR		4	5			8				
	SPMR		6		8						
	KNUX						8		12		
Forme	Désignation*	Diamètre									
		9	10	12	15	16	19	20	25	31	32 —
		Profondeur de coupe maximale (p)									
	RNMG	4	—	5	6	—	8	—	10	12	— —
	RCMX	—	4	5	—	6	—	8	10	—	12 —

* Voir désignation § 44.11.

44.114 Choix du rayon de bec d'une plaquette carbure

Le choix du rayon de bec est fonction de l'opération à effectuer, ébauche ou finition.

Ébauche

Afin d'obtenir une arête de coupe résistante, il faut choisir le rayon r_e de bec le plus grand possible.

REMARQUES :

- Un grand rayon permet une grande avance.
- En cas de risque de vibration, il faut réduire le rayon de bec.
- Pour un rayon de bec déterminé, il existe une avance maximale ; voir le tableau ci-contre.
- Une avance élevée implique le choix d'une plaquette ayant les caractéristiques suivantes :
 - angle de pointe $\epsilon_r = 60^\circ$ minimum,
 - non réversible,
 - angle de direction d'arête α_r^* inférieur à 90° .

Par ailleurs, la pièce à usiner doit être réalisée avec un matériau ayant une bonne usinabilité et la vitesse de coupe doit être modérée.

Finition

L'état de surface et les tolérances qu'il est possible d'obtenir sont essentiellement fonction du rayon de bec et de l'avance. Pour des conditions d'usinage favorable, le tableau ci-contre recommande l'avance à utiliser pour un état de surface donné et un rayon de bec déterminé.

REMARQUES :

- L'état de surface peut être amélioré avec une augmentation de la vitesse de coupe et une géométrie de coupe positive (γ positif).
- En cas de risque de vibrations, il faut réduire le rayon de bec.

44.12 Conditions de coupe pour outils en acier rapide

Les conditions de coupe indiquées dans le tableau ci-dessous concernent le chariotage, l'outil en acier rapide ayant une durée de vie de 60 à 90 mn.

Les conditions de coupe varient en fonction de nombreux

* Prononcer : « kappa ».



AVANCE MAX a — RAYON DE BEC r_e						
r_e (mm)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4	
a (μ m)	0,25 à 0,35	0,4 à 0,7	0,5 à 1	0,7 à 1,3	1 à 1,8	
ÉTAT DE SURFACE R_a — RAYON DE BEC r_e						
État de surface		Rayon r_e				
R_a (μ m)	R (μ m)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
Avance (mm/tr)						
0,6	1,6	0,07	0,1	0,12	0,14	0,17
1,6	4	0,11	0,15	0,19	0,22	0,26
3,2	10	0,17	0,24	0,29	0,34	0,42
6,3	16	0,22	0,3	0,37	0,43	0,53
8	25	0,27	0,38	0,47	0,54	0,66
32	100	—	—	—	1,08	1,32
État de surface		Rayon r_e				
R_a (μ m)	R (μ m)	10	12	16	20	25
Avance (mm/tr)						
0,6	1,6	0,25	0,28	0,32	0,36	0,4
1,6	4	0,40	0,44	0,51	0,57	0,63
3,2	10	0,63	0,69	0,8	0,89	1
6,3	16	0,8	0,88	1,01	1,13	1,26
8	25	1	1,1	1,26	1,42	1,41
32	100	2	2,2	2,14	2,94	3,33

paramètres liés à la machine, à la pièce et à l'outil. Seuls des essais peuvent permettre de déterminer les conditions de coupe optimales.

Dans la désignation de la nuance de l'outil, les symboles W.D.V.C. sont remplacés par les chiffres indiquant le % et correspondent dans l'ordre aux constituants suivants : tungstène, molybdène, vanadium, chrome.

CHARIOTAGE

Matière			Conditions de coupe			Outil acier rapide				Tour
Désignation	État	Rr daN/mm²	Profondeur de passe (mm)	Avance (mm/tr)	Vitesse de coupe (m/min)	Nuance abrégée W. D. V. C.	γ (degré)	r _e (mm)	Section outil (mm × mm)	Puissance (kW)
Aciers au carbone et faiblement alliés										
Ac. au carbone : XC 32 à XC 80	Recuit	< 40	0,2 à 1	0,1 à 0,2	65 à 60	6-5-2	—	0,4	12 × 12	< 1
			1 à 4	0,2 à 0,4	60 à 45	6-5-2	—	0,8	16 × 16	1 à 4
			4 à 8	0,4 à 0,8	45 à 30	6-5-2	—	1,2	25 × 25	4 à 10
			8 à 12	0,8 à 1,2	30 à 25	6-5-2	—	1,6	32 × 32	10 à 15
Ac. au manganèse	Recuit	40 à 60	0,2 à 1	0,1 à 0,22		6-5-2	18	0,4	12 × 12	< 1
1 à 4			0,2 à 0,4	52 à 36	6-5-2	18	0,8	16 × 16	1 à 3	
4 à 8			0,4 à 0,8	36 à 26	6-5-2	18	1,2	25 × 25	3 à 5	
8 à 12			0,8 à 1,2	26 à 20	6-5-2	18	1,6	32 × 32	5 à 10	
Ac. au nickel-chrome	Recuit	60 à 75	0,2 à 1	0,1 à 1,2	50 à 45	6-5-2	14	0,4	12 × 12	< 1
1 à 4			0,2 à 0,4	45 à 30	6-5-2	14	0,8	16 × 16	1 à 3	
4 à 8			0,4 à 0,8	30 à 25	6-5-2	14	1,2	25 × 25	3 à 5	
8 à 12			0,8 à 1,2	25 à 20	6-5-2	14	1,6	32 × 32	5 à 10	
Ac. au nickel-chrome-molybdène	Recuit	75 à 90	0,2 à 1	0,1 à 0,2	40 à 35	2-9-1-8	14	0,4	12 × 12	< 1
1 à 4			0,2 à 0,4	35 à 25	2-9-1-8	14	0,8	16 × 16	1 à 3	
4 à 8			0,4 à 0,8	25 à 20	2-9-1-8	14	1,2	25 × 25	3 à 5	
8 à 12			0,8 à 1,2	20 à 15	2-9-1-8	14	1,6	32 × 32	5 à 10	
Ac. au molybdène	Recuit	90 à 110	0,2 à 1	0,1 à 0,2	28 à 22	2-9-1-8	14	0,4	12 × 12	< 1
1 à 4			0,2 à 0,4	22 à 17	2-9-1-8	14	0,8	16 × 16	1 à 3	
4 à 8			0,4 à 0,8	17 à 14	2-9-1-8	14	1,2	25 × 25	3 à 5	
NOTA : L'usinage des aciers trempés et revenus dont la résistance à la rupture (Rr) reste inférieure à 190 daN/mm² est possible en diminuant la vitesse de coupe (≤ 8 m/min) et l'avance (0,1 à 0,2).										
Fontes grises										
FGL 150	Ferritique	Dureté HB 150	0,2 à 1	0,1 à 0,2	70 à 65	6-5-2	0	0,4	12 × 12	< 1
	Recuite		1 à 4	0,2 à 0,4	65 à 50	6-5-2	0	0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	50 à 35	6-5-2	0	1,2	25 × 25	2 à 6
			8 à 12	0,8 à 1,2	35 à 28	6-5-2	0	1,6	32 × 32	6 à 10
FGL 200	Perlite	160 à 200	0,2 à 1	0,1 à 0,2	52 à 45	12-0-5-5	0	0,4	12 × 12	< 1
	Ferrite moulée		1 à 4	0,2 à 0,4	45 à 35	12-0-5-5	0	0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	35 à 20	12-0-5-5	0	1,2	25 × 25	2 à 3
			8 à 12	0,8 à 1,2	20 à 15	12-0-5-5	0	1,6	32 × 32	3 à 5
FGL 300	Perlitique	180 à 220	0,2 à 1	0,1 à 0,2	45 à 40	12-0-5-5	0	0,4	12 × 12	< 1
	moulée		1 à 4	0,2 à 0,4	40 à 30	12-0-5-5	0	0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	30 à 15	12-0-5-5	0	1,2	25 × 25	2 à 3
			8 à 12	0,8 à 1,2	15 à 12	12-0-5-5	0	1,6	32 × 32	3 à 4
FGL 400	Bainite moulée ou trempée revenue	250 à 320	0,2 à 1	0,1 à 0,2	20 à 18	12-0-5-5	0	0,4	12 × 12	< 1
			1 à 4	0,2 à 0,4	18 à 13	12-0-5-5	0	0,8	16 × 16	< 1
			4 à 8	0,4 à 0,8	13 à 10	12-0-5-5	0	1,2	25 × 25	1 à 2

CHARIOTAGE

CHARIOTAGE												
Matière			Conditions de coupe			Outil acier rapide				Tour		
Désignation	État	Dureté (HB)	Profondeur de passe (mm)	Avance (mm/tr)	Vitesse de coupe (m/min)	Nuance W. D. V. C.	γ (degré)	r_e (mm)	Section outil (mm $\times$ mm)	Puissance (kW)		
Alliages légers			0,2 à 1	0,1 à 0,2	> 1000	6-5-2	5 à 10	0,5	12 $\times$ 12	2 à 4		
Alliages ultra-légers	—	—	1 à 4	0,2 à 0,4	> 1000	6-5-2	5 à 10	1,2	16 $\times$ 16	4 à 20		
			4 à 8	0,4 à 0,8	> 1000	6-5-2	5 à 10	2	25 $\times$ 25	20 à 70		
			8 à 12	0,8 à 1,2	1000 à 900	6-5-2	5 à 10	2	32 $\times$ 32	70 à 150		
Alliages légers sans silicium	—	15 à 90	0,2 à 1	0,1 à 0,2	1000 à 900	6-5-2	20 à 25	0,5	12 $\times$ 12	1 à 4		
			1 à 4	0,2 à 0,4	900 à 800	6-5-2	20 à 25	1,2	16 $\times$ 16	3 à 20		
			4 à 8	0,4 à 0,8	800 à 700	6-5-2	20 à 25	2	25 $\times$ 25	20 à 60		
			8 à 12	0,8 à 1,2	700 à 600	6-5-2	20 à 25	2	32 $\times$ 32	60 à 120		
Alliages légers avec silicium (< 5 %)	—	90 à 160	0,2 à 1	0,1 à 0,2	800 à 700	6-5-2	20 à 25	0,5	12 $\times$ 12	> 3		
			1 à 4	0,2 à 0,4	700 à 650	6-5-2	20 à 25	1,2	16 $\times$ 16	3 à 17		
			4 à 8	0,4 à 0,8	650 à 600	6-5-2	20 à 25	2	25 $\times$ 25	17 à 50		
			8 à 12	0,8 à 1,2	600 à 550	6-5-2	20 à 25	2	32 $\times$ 32	50 à 100		
Alliages légers avec silicium ($\leq$ 13 %)	—	—	0,2 à 1	0,1 à 0,2	600 à 500	6-5-2	20 à 25	0,5	12 $\times$ 12	> 2		
			1 à 4	0,2 à 0,4	500 à 450	6-5-2	20 à 25	1,2	16 $\times$ 16	2 à 12		
			4 à 8	0,4 à 0,8	450 à 400	6-5-2	20 à 25	2	25 $\times$ 25	12 à 35		
			8 à 12	0,8 à 1,2	400 à 350	6-5-2	20 à 25	2	32 $\times$ 32	35 à 70		
Alliages cuivreux			Étiré à froid	Dureté (HRb)	0,2 à 1	0,1 à 0,2	130 à 110	6-5-2	8 à 12	0,5	12 $\times$ 12	—
* Cuivres Laitons Maillechorts Bronzes à l'étain	60	1 à 4		0,2 à 0,4	110 à 90	6-5-2	8 à 12	1,2	16 $\times$ 16	0,5 à 2,5		
	à 100	4 à 8		0,4 à 0,6	90 à 85	6-5-2	8 à 12	2	25 $\times$ 25	2,5 à 9,5		
		8 à 12		0,4 à 0,8	90 à 80	6-5-2	8 à 12	2	32 $\times$ 32	5 à 14		
Laitons spéciaux	Moulé	40 à 200	0,2 à 1	0,1 à 0,2	120 à 100	6-5-2	8 à 12	0,5	12 $\times$ 12	—		
Cupro-nickels Cupro-aluminums		(5005 à 500 daN)	1 à 4	0,2 à 0,4	100 à 75	6-5-2	8 à 12	1,2	16 $\times$ 16	0,5 à 3		
		4 à 8	0,4 à 0,6	75 à 70	6-5-2	8 à 12	2	25 $\times$ 25	2 à 8			
		8 à 12	0,4 à 0,8	75 à 65	6-5-2	8 à 12	2	32 $\times$ 32	4 à 13			
* Laitons spéciaux Maillechorts Cupro-nickels Cuivres spéciaux	Étiré à froid	60 à 100	0,2 à 1	0,1 à 0,2	190 à 160	6-5-2	3 à 8	0,5	12 $\times$ 12	—		
			1 à 4	0,2 à 0,4	160 à 130	6-5-2	3 à 8	1,2	16 $\times$ 16	0,5 à 3		
			4 à 8	0,4 à 0,6	130 à 120	6-5-2	3 à 8	2	25 $\times$ 25	3 à 12		
			8 à 12	0,4 à 0,8	130 à 110	6-5-2	3 à 8	2	32 $\times$ 32	6 à 20		
* Ces matériaux à l'état recuit (dureté 10 à 70 HRb) ont pratiquement les mêmes vitesses de coupe.												

* Ces matériaux à l'état recuit (dureté 10 à 70 HRB) ont pratiquement les mêmes vitesses de coupe.

D'après le C.E.T.I.M.

44.121 Influence de la forme des outils sur la vitesse de coupe

Le tableau de coefficients ci-contre peut servir comme base d'essai pour modifier la vitesse de coupe.

** Pour les outils à fileter en carbure, voir le tableau des vitesses de coupe § 48.6.

Outil	Coefficient
Outil à charioter	1
Outil couteau	0,8
Outil à tronçonner	0,5
Outil à fileter**	0,3
Outil à aléser	0,7

44.13 Conditions de coupe des outils à plaquette carbure

Le tableau § 44.132 permet le choix de la vitesse de coupe pour le chariotage à l'aide des outils en carbure.

44.131 Méthode

Procéder de la manière suivante :

- 1° Sélectionner la nuance de carbure (voir § 44.10).
- 2° Choisir la plus grande avance possible liée au rayon de bec (fonction de l'état de surface, de la stabilité et de la puissance de la machine, etc.).
- 3° Choisir la vitesse de coupe qui correspond au mieux à l'avance adoptée.

REMARQUE :

Il est nécessaire de calculer la puissance absorbée afin de s'assurer que la machine est suffisamment puissante (voir § 44.14).

EXEMPLE :

Soit à usiner une pièce en acier XC 38 ($\approx 0,35\%$ de carbone). L'opération réalisée est du copiage en demi-finition. L'état de surface demandé correspond à $R_a = 3,2 \mu\text{m}$. Le rayon de bec imposé est égal à 1,2 mm.

- 1° Le tableau du choix de la nuance carbure § 44.10 indique P 10 (S1P).
- 2° Le tableau du choix de l'avance en fonction du rayon de bec et de l'état de surface § 44.114 donne une avance de 0,3 mm/tr.
- 3° La vitesse de coupe correspondante § 44.132 est égale à 240 m/mn pour une durée de vie de l'outil de 15 mn environ.

REMARQUES :

- Signification des symboles utilisés dans le tableau § 44.132 : κ_a : pression de coupe spécifique en daN/mm^2 pour une avance de 0,4 mm/tr. (Pour une avance différente, voir le tableau § 44.14.)

HB : dureté Brinell en daN/mm^2 . (Pour les aciers, la résistance à la rupture R_r en daN/mm^2 est sensiblement égale à 0,35 HB ; voir le tableau d'équivalence G.D. chapitre 72.)

- Tableau d'équivalence ISO-Sandvik des nuances de carbures :

Le tableau ci-dessus donne les correspondances des valeurs ISO et Sandvik. Il est à utiliser conjointement avec le tableau des vitesses de coupe (§ 44.14) ainsi que le tableau du choix des nuances de carbure (§ 44.10).

CHAMP D'APPLICATION DES NUANCES SANDVIK CORRESPONDANCE AVEC LES NUANCES ISO						
Nuances ISO	Nuances Sandvik			Résistance à l'usure et ténacité		
	Nuances de base	Nuances pour applications complémentaires	Nuances pour applications spéciales			
P Acier - Acier coulé à copeaux longs - Fonte malléable	01		F02			▲ Résistance à l'usure
	10	S1P				
	15					
	20		S2			
	25	GC 1025				
	30		S4			
	35	GC 135				
	40		S6			
	50		R4		▼ Ténacité	
M Acier - Acier coulé Fonte malléable Acier de décolletage	10	R1P				▲ Résistance à l'usure
	20		GC 1025 GC 135	H1P SH		
	30					
	40	R4			▼ Ténacité	
K Fonte - Acier trempé Matériau non ferreux Plastique - Bois	01			H05		▲ Résistance à l'usure
	10		H1P			
	15	GC 315		GC 1025		
	20		H20			
	30				▼ Ténacité	

Matière		ka (daN/ mm ²)	HB**	Nuances de carbure Sandvik*									
				GC 015	GC 1025	GC 135	S1P	S4	S6	F02	S2	R4	
				Avance (mm/tr)									
				1,2-0,4-0,2	1,2-0,4-0,2	2-0,4-0,2	0,7-0,3-0,1	2-0,4-0,2	2,5-1-0,4	0,3-0,15-0,05	1,2-0,2-0,15	2,5-1-0,4	
				Vitesse de coupe (m/min)									
Acier au carbone non allié	C = 0,15 %	190	125	180-310-385	160-300-400	95-220-280	200-290-410	80-190-250	45-95-160	350-440-540	130-260-330	35-65-100	
	C = 0,35 %	210	150	165-245-350	140-245-330	75-170-220	170-240-350	65-150-200	40-75-125	290-360-460	100-210-270	25-50-80	
	C = 0,70 %	230	180-250	130-245-300	110-190-260	60-135-175	130-190-280	45-115-160	30-55-95	230-290-370	80-160-210	15-35-60	
Acier allié	Recuit	210	125-200	150-250-310	110-190-260	60-135-175	130-190-280	50-120-160	35-60-95	230-290-370	80-160-210	20-40-60	
	Trempe et recuit	250	200-275	110-195-265	85-155-210	50-110-140	105-150-220	40-95-125	30-50-75	180-230-290	65-130-170	15-30-50	
	Trempe et recuit	275	220-325	90-155-210	70-125-170	40-90-115	85-120-175	30-75-100	20-40-60	145-180-230	50-100-130	10-25-40	
	Trempe et recuit	300	325-450	70-125-170	55-100-135	30-70-90	65-95-140	25-60-80	15-30-50	115-145-185	40-80-105	8-20-30	
Acier inox. recuit ferritique	Martensitique	230	150-270	140-200-250	125-185-230	170-210	200-280	95-165-200	65-90-115	—	120-190-225	40-55-70	
	Austénitique	260	150-220	100-165-200	90-150-180	135-165	—	80-125-150	55-80-110	—	140-175	40-55-70	
Acier coulé	Non allié	180	150	100-185-260	80-155-225	60-120-150	160-200	55-115-145	40-60-90	—	80-135-160	25-40-60	
	Faiblement allié	210	150-250	75-135-165	60-120-160	45-80-100	115-160	35-75-100	25-40-60	—	55-95-115	20-30-40	
	Hautement allié	240	160-200	155-195	—	80-95	—	30-70-90	20-35-50	—	90-105	15-25-35	
Matière		ka (daN/ mm ²)	HB	GC 015	GC 315	GC 1025	H1P	H20	H05	H10	R1P	R4	
				Avance (mm/tr)									
				1-0,3-0,2	1-05-0,2	1-0,7-0,2	1-0,5-0,2	1,2-0,7-0,4	0,2-0,1	0,2	0,3-0,15	0,4-0,2	
				Vitesse de coupe (m/min)									
Acier dur	Ac. au Mn (12 %)	360	250	25-30-40	20-30-40	25-40-70	20-35-50	10-30	—	—	—	—	
	Ac. trempé	450	50-65 HRC	—	15-25-35	—	10-20-35	10-20	—	—	—	—	
Ac. réfractaires	Recuit	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60-75	35-45	
	Vieilli	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35-50	25-35	
Acier à base de Ni - Co	Recuit	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25-35	10-20	
	Vieilli	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10-25	10-15	
	Coulé	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5-10	
Fonte malleable	Copeaux courts	110	110-145	150-215-275	130-165-200	120-140-235	90-140-200	60-90-110	—	—	—	—	
	Copeaux longs	100	200-250	170-225-290	—	130-155-260	95-160-230	—	—	—	—	—	
Fonte grise	Faible résistance	110	180	120-205-330	90-150-220	—	90-150-225	65-90-105	160-200	180	—	—	
Ft. grise allié	Haute résistance	150	260	85-150-243	70-115-160	—	65-110-175	45-65-75	90-135	130	—	—	
Fonte GS	Ferritique	110	160	85-135-185	85-135-180	80-110-155	65-110-175	—	—	—	—	—	
	Perlitique	180	250	80-120-165	65-110-140	65-90-130	55-95-160	—	—	—	—	—	
Fonte trempée en coquille	—	275	400	—	9-15-25	—	—	—	6-20	—	—	—	
	—	350	600	—	—	—	—	—	4-16	—	—	—	
Cu. électrolytique	—	110	50-85	—	225-320-450	—	250-350-475	150-210-280	—	—	—	—	
Bronzes Alliages de laiton	Alliages au Pb	70	80-150	—	305-375-470	—	350-420-500	220-280-335	—	—	—	—	
	Laiton rouge	75	60-110	—	220-270-335	—	250-300-360	160-200-240	—	—	—	—	
	Phosphoreux	175	85-110	—	130-180-250	—	150-210-275	100-130-165	—	—	—	—	
Alliages d'aluminium	Non traitables à chaud	50	30-80	—	—	—	1300-1700-2200	800-1000-1300	—	—	—	—	
	Traitables à chaud	70	80-120	—	—	—	350-480-650	200-270-350	—	—	—	—	
Alliages d'aluminium coulés	Non traitables à chaud	75	100	—	—	—	300-480-700	140-225-320	—	—	—	—	
	Traitables à chaud	90	130	—	—	—	160-250-380	85-130-190	—	—	—	—	
Matériaux divers	Caoutchouc dur	—	—	—	—	—	230-350	115-230	—	—	—	—	
	Fibre	—	—	—	—	—	115-230	85-170	—	—	—	—	
	Plastiques durs	—	—	—	—	—	230-460	175-350	—	—	—	—	

* Voir le tableau de correspondance avec les nuances ISO § 44.13.

** Pour les aciers Rr = 0,35 HB

Ces conditions de coupe sont données pour une durée de vie de l'arête de coupe de 15 min.

44.14 Effort de coupe et puissance absorbée

44.141 Effort de coupe

Soit le cas d'un usinage avec un outil à chariotier coudé.

L'action $\vec{A}_{P/O}$ de la pièce P sur l'outil O admet trois composantes : $\vec{F}_c$; $\vec{F}_a$; $\vec{F}_p$.

Effort tangentiel de coupe :

$$F_c \approx K_a \cdot S$$

F_c : effort tangentiel de coupe en newtons (N).

K_a : pression spécifique de coupe en N/mm².

S : section du copeau en mm².

$$S = f \cdot p$$

f : avance en millimètre par tour (mm/tr).

p : profondeur de passe en mm.

$$F_c = K_a \cdot f \cdot p$$

44.142 Puissance nécessaire à la coupe

La puissance P (watts) est égale au produit de la force F (newtons) par la vitesse V (m/s) :

$$P = F \cdot V$$

Dans le cas d'outil à chariotier coudé :

$$P = (F_c \cdot V_c) + (F_a \cdot V_a) + (F_p \cdot V_p)$$

$V_p = 0$ (pas de mouvement relatif entre l'outil et la pièce suivant cet axe).

V_a peut être négligé devant V_c , d'où :

$$P \approx \frac{F_c \cdot V_c}{60} \quad \text{ou} \quad P \approx \frac{K_a \cdot f \cdot p \cdot V_c}{60}$$

P : puissance nécessaire à la coupe en watts (W).

F_c : effort tangentiel de coupe en newtons.

V_c : vitesse de coupe en m/min.

Puissance absorbée par la machine

$$P = \frac{P_u}{\eta}$$

η^* : rendement de la machine.

REMARQUES :

■ La puissance absorbée varie également en fonction de l'angle de coupe γ et de l'angle de direction d'arête κ_r .

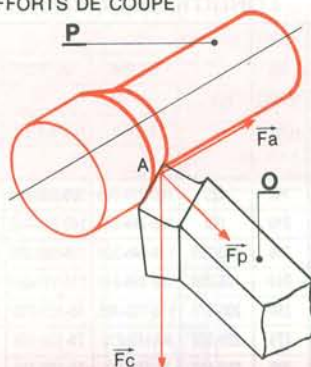
■ La pression spécifique de coupe (K_a) est fonction du matériau et de l'avance a (voir tableau ci-contre).

APPLICATION :

Soit à évaluer la puissance absorbée par une opération de chariotage sur une pièce en acier XC 38 à l'aide d'un outil en carbure P 10 ($\gamma = 6^\circ$ et $\kappa_r = 75^\circ$). $K_a = 170$ daN/mm². Avance $a = 0,4$ mm. Profondeur de passe $p = 3$ mm. Vitesse de coupe $V = 270$ m/min. Rendement de la machine $\eta = 0,8$.

* Prononcer « éta ».

EFFORTS DE COUPE



Type d'outil	Matériau usiné	Fa	Fp
Outil à chariotier coudé à 45°	Acier	2/5 Fc	2/5 Fc
	Fonte	1/3 Fc	1/3 Fc
Outil couteau	Acier	2/3 Fc	1/10 Fc
	Fonte	2/3 Fc	1/10 Fc

Matière		Ka (daN/mm ²)			
		Avance			
		0,1	0,2	0,4	0,8
Aciers ordinaires	A-33 - E 26	360	260	190	140
	E 36	400	290	210	150
	A-60	420	300	220	160
	A-70	440	315	230	165
Aciers fins	XC 38 - XC 42	320	230	170	125
	XC 55 - XC 65	360	260	190	140
	XC 70	390	285	205	150
Aciers alliés	Acier au manganèse	470	340	245	180
	Acier au nickel-chrome	500	360	260	185
	Acier au chrome molybdène	530	380	275	200
	Acier inoxydable	520	375	270	190
Fontes	Ft 10 - Ft 15	190	136	100	70
	Ft 20 - Ft 25	290	210	150	110
	Fonte alliée	325	230	170	120
	Fonte malléable	240	175	125	90
Alliages de cuivre	Laiton	160	115	85	60
	Bronze	340	245	180	130
Alliages d'aluminium	Alliage d'al. (si ≤ 13 %)	140	100	70	50
	Alliage de moulage (Rr ≤ 19)	115	85	60	45
	Alliage de moulage (19 < Rr < 27)	140	100	70	50
	Alliage de moulage (27 < Rr < 37)	170	122	85	65

Puissance absorbée par la machine :

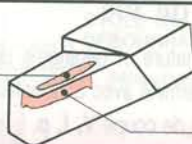
$$P = \frac{K_a \times f \times p \times V_c}{\eta \cdot 60}$$

$$P = \frac{1700 \times 0,4 \times 3 \times 270}{0,8 \times 60} = 11475 \text{ watts ; } P = 11,5 \text{ kW.}$$

44.15 Incidents d'usinage

Le tableau ci-dessous donne une indication sur les causes probables des incidents d'usinage.

Usure en cratère



Usure en dépouille

Incidents d'usinage	Matériaux de coupe	Causes probables
Usure en dépouille	Plaquette carbure à jeter. Acier rapide et carbure brasé.	Vitesse trop forte; avance trop faible; nuance mal adaptée.
Cratérisation	Plaquette carbure à jeter et carbure brasé.	Vitesse trop élevée; avance trop forte; nuance mal choisie; lubrification insuffisante.
Brûlage de l'arête	Acier rapide.	Vitesse excessive; rayon de bec trop petit; lubrification insuffisante; nuance inadaptée.
Arête rapportée (copeau adhérent)	Acier rapide. Plaquettes carbure à jeter ou brasées.	Vitesse trop faible.
Écaillage* de l'arête	Acier rapide.	Outil mal affûté; outil fissuré; outil brûlé à l'affûtage; formation d'arête rapportée; nuance d'acier trop fragile.
	Plaquette carbure à jeter.	Avance excessive; dépouille excessive; trop de vibrations; brise-copeaux mal réglé; carbure trop fragile; coupe discontinue; inclusions ou soufflures; mauvais arrosage.
	Carbure brasé.	Avance excessive; dépouille excessive; trop de vibrations; brise-copeaux mal fait; carbure trop fragile, coupe discontinue; inclusions ou soufflures; mauvais arrosage.
Bris de l'outil	Acier rapide.	Fléchissement de l'outil; profondeur de passe excessive; avance excessive; fissurations d'affûtage.
	Plaquette carbure à jeter.	Fléchissement de l'outil; profondeur de passe excessive; avance excessive; mauvais bridage de la plaquette; brise-copeaux trop proche; coupe interrompue; inclusions dans la pièce; criques d'affûtage; mauvais état du porte-outil; écaillage ou usure excessive de la plaquette.
	Carbure brasé.	Fléchissement de l'outil; profondeur de passe excessive; avance excessive; mauvais brasage de la plaquette; brise-copeaux trop étroit; coupe interrompue; inclusions dans la pièce; criques d'affûtage; écaillage ou usure excessive.
Talonage	Plaquette carbure à jeter.	Dépouille insuffisante; angle de direction mal choisi; outil au-dessus de l'axe.
	Acier rapide et carbure brasé.	Dépouille insuffisante; angle de direction mal choisi; outil au-dessus de l'axe.
Finition grossière	Plaquette carbure à jeter. Acier rapide et carbure brasé.	Vitesse de coupe trop faible; avance trop forte pour un rayon de bec donné; angle de coupe trop faible; vibrations; mauvaise lubrification; rayon trop faible; plaquette usée ou écaillée; copeau non contrôlé; arête rapportée.
Broutement	Acier rapide.	Manque de puissance et de rigidité de la machine; porte-à-faux important de l'outil; pièce trop flexible ou mal fixée; rayon de bec trop fort; outil mal centré; jeux sur la machine; géométrie et conditions de coupe mal adaptées.
	Plaquette carbure et carbure brasé.	Manque de puissance et de rigidité de la machine, porte-à-faux important de l'outil; pièce trop flexible ou mal fixée; rayon de bec trop fort; outil mal centré; avance trop faible; brise-copeaux trop près ou mal fait; jeux dans la chaîne cinématique de la machine; géométrie de l'outil et conditions de coupe mal adaptées.
Bourrage du copeau	Plaquettes carbure à jeter.	Brise-copeaux trop proche; avance trop forte; vitesse trop faible.
	Carbure brasé.	Brise-copeaux trop étroit; avance trop forte; vitesse trop faible.
Copeau filiforme	Plaquette carbure à jeter et carbure brasé.	Avance trop faible; brise-copeaux mal réglé ou mal usiné.

* Protéger l'arête en la chanfreinant.

44.16 Durée de vie

L'usure d'un outil de nature et géométrie données pour usiner un matériau déterminé avec un lubrifiant connu est fonction des conditions de coupe **V, f, p**.

De nombreux travaux ont conduit à des lois de la forme : $T = f(V, f, p)$ ou plus simplifiée telle que : $T = f(V)$.

■ Droite de Taylor

L'étude de l'usure pour des vitesses de coupe $V_1, V_2, V_3, \dots$ donne des temps correspondants $T_1, T_2, T_3, \dots$ pour un critère d'usure (par exemple VB^*) et une limite fixée.

Ces couples $V_1, T_1, V_2, T_2, V_3, T_3, \dots$ reportés sur un graphe à coordonnées logarithmiques donne une courbe relativement proche d'une droite et dite « **droite de Taylor** » qui a pour expression :

$$T = C_v \cdot V^n$$

$\log T = n \log V + \log C_v$ (forme $y = ax + b$).

T = durée de vie de l'outil en minutes.

C_v = coefficient représentant le temps théorique que durerait l'outil pour une vitesse de coupe de 1 m/min.

$\log C_v$ = ordonnée à l'origine de la droite.

V = vitesse de coupe en m/min.

n = coefficient représentant le coefficient directeur ou pente de la droite.

REMARQUES :

■ Pour ce modèle simplifié de la loi de Taylor, l'avance et la profondeur de passe sont constantes.

■ Le modèle de Taylor est parfois exprimé sous la forme : $V \cdot T^k = \text{constante}$, soit : $V_1 \cdot T_1^k = V_2 \cdot T_2^k$.

Le coefficient k est différent du coefficient n . L'ordre de grandeur est :

- pour l'outil ARS $0,09 < k < 0,125$,
- pour l'outil carbure $k \approx 0,2$.

APPLICATION NUMÉRIQUE :

Soit un matériau 35 NC 6 à usiner avec un outil carbure P10.

La droite de Taylor et ses caractéristiques ont été déterminés par essais.

Vitesse de coupe proposée : $V = 220$ m/min.

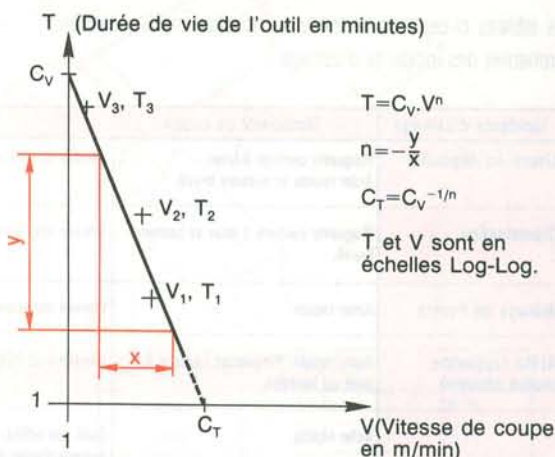
Déterminer la durée de vie T .

Appliquons la formule : $T = C_v \cdot V^n = 1,16 \cdot 10^{12} \times 220^{-4,6}$.

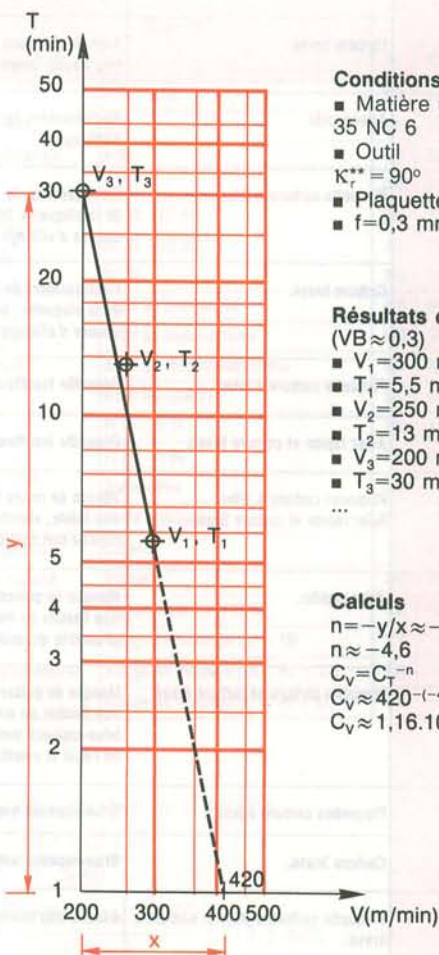
$T = 19,6$ minutes.

* VB = hauteur de l'usure en dépouille.

DROITE DE TAYLOR



APPLICATION



** κ : lire kappa.

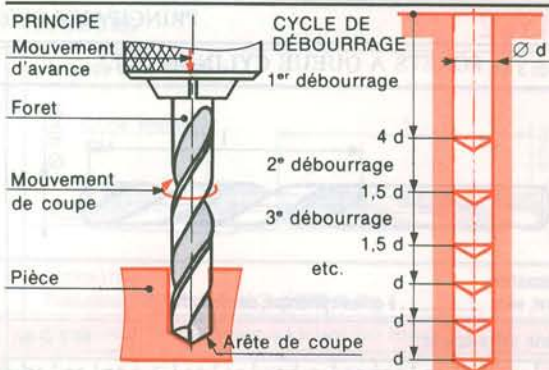
45 Perçage

Le perçage est une opération destinée à produire un trou cylindrique sous l'action d'un outil coupant appelé mèche ou foret.

Très souvent le mouvement de coupe et le mouvement d'avance sont donnés à l'outil (fig. 1).

Le perçage est un moyen d'usinage :

- particulièrement économique et rapide,
- utilisant des machines relativement simples.

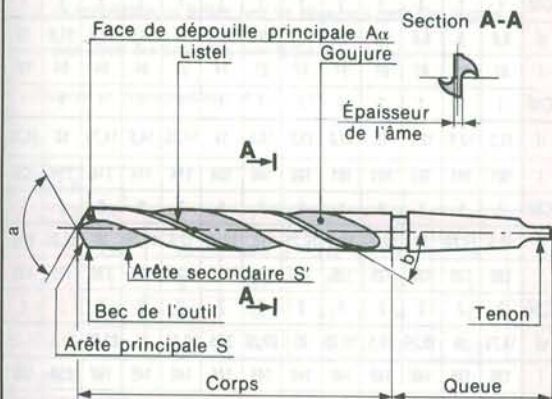


45 ■ 1

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS D'UN FORET HÉLICOÏDAL

Angles normalisés*

NF E 66-502



a : angle de pointe $= 2\chi r$,

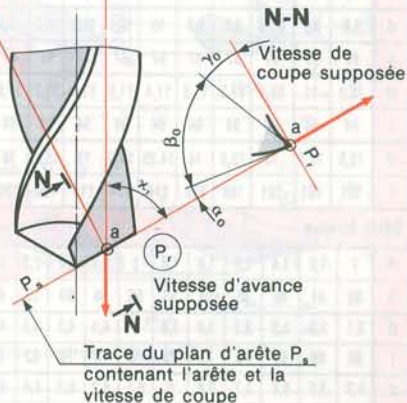
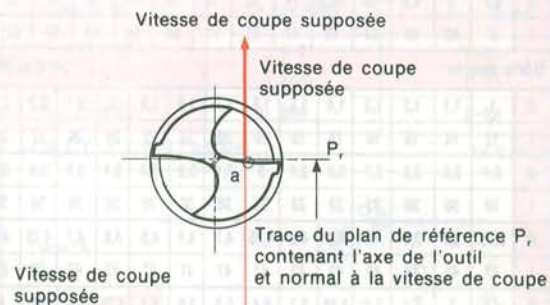
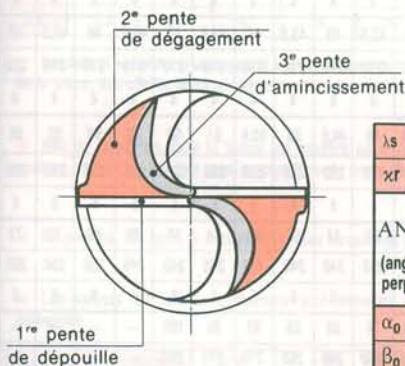
b : angle d'hélice (voir tableau de valeurs § 45.3).

NOTA :

L'amincissement de la partie centrale du foret (âme) présente les avantages suivants :

- réduction de l'effort de pénétration,
- avance plus grande,
- suppression possible de l'avant-trou de pointage.

Une machine** permet d'obtenir automatiquement cet affûtage dit « affûtage 3 pentes ».



λ_s	Angle d'inclinaison d'arête
χr	Angle de direction d'arête
ANGLES ORTHOGONAUX (angles contenus dans un plan perpendiculaire à P_r et P_s)	
α_0	Angle de dépouille orthogonal
β_0	Angle de taillant orthogonal
γ_0	Angle de coupe orthogonal

* Dans le système de l'outil en main.

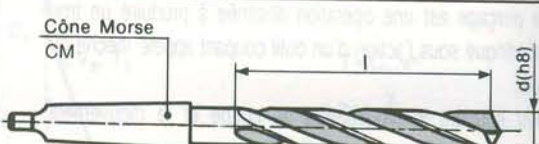
** Avyac.

45.2

PRINCIPAUX OUTILS DE PERÇAGE

FORETS À QUEUE CYLINDRIQUE*

FORETS À QUEUE CÔNE MORSE*



DÉSIGNATION:

Foret, série _____, à queue cylindrique, de $\varnothing$ d, NF E _____

DÉSIGNATION:

Foret série normale de $\varnothing$ d, NF E 66-071.

Série extra-courte

NF E 66-061

Série normale

NF E 66-071

d	1	1,2	1,5	1,6	1,8	2	2,2	2,5	2,8	3	3,2	3,5	3,8
l	6	8	9	10	11	12	13	14	16	16	18	20	22
d	4	4,2	4,5	4,8	5	6	6,2	6,5	6,8	7	7,2	7,5	8
l	22	22	24	26	26	28	31	31	34	34	34	34	37
d	8,5	9	9,5	10	10,5	11	12	13	14	15	16	17	18
l	37	40	40	43	43	47	51	51	54	56	58	60	62

d	4	4,5	5	5,5	6	6,5	6,8	7	7,5	7,8	8	8,2	8,5
l	43	47	52	57	57	63	69	69	75	75	75	75	75
CM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
d	8,8	9	9,5	9,8	10	10,2	10,5	10,8	11	11,2	11,5	11,8	12
l	81	81	81	87	87	87	87	94	94	94	94	94	101
CM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Série courte

NF E 66-067

d

d	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3
l	12	14	16	16	18	18	20	20	22	22	24	24	27	27
d	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7
l	30	30	30	33	33	33	36	36	36	39	39	39	39	39
d	3,75	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,25	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,75	4,8
l	43	43	43	43	43	47	47	47	47	47	47	52	52	52
d	4,9	5	5,1	5,2	5,25	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,75	5,8	5,9	6
l	52	52	52	52	52	57	57	57	57	57	57	57	57	57
d	6,1	6,2	6,25	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,75	6,8	6,9	7	7,1	7,2
l	63	63	63	63	63	63	63	69	69	69	69	69	69	69
d	7,25	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,75	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,25	8,3
l	69	69	69	69	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
d	8,4	8,5	8,6	8,7	8,75	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,25	9,3	9,4	9,5
l	75	75	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
d	9,6	9,7	9,75	9,8	9,9	10	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8
l	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	94	94	94
d	10,9	11	11,1	11,2	11,3	11,4	11,5	11,6	11,7	11,8	11,9	12	12,1	12,2
l	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	101	101	101	101
d	12,5	12,7	13	13,5	14	14,25	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
l	101	101	101	108	108	114	114	114	120	120	120	125	130	130

d	12,2	12,5	12,8	13	13,2	13,5	13,8	14	14,25	14,5	14,75	15	15,25
l	101	101	101	101	101	108	108	108	114	114	114	114	120
CM	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
d	15,5	15,75	16	16,25	16,5	16,75	17	17,25	17,5	17,75	18	18,25	18,5
l	120	120	120	125	125	125	125	130	130	130	130	135	135
CM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
d	18,75	19	19,25	19,5	19,75	20	20,25	20,5	20,75	21	21,25	21,5	21,75
l	135	135	140	140	140	140	145	145	145	145	150	150	150
CM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
d	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28
l	150	155	155	155	160	160	160	165	165	165	170	170	170
CM	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
d	28,5	29	29,5	30	30,5	31	31,5	31,75	32	32,5	33	33,5	34
l	175	175	175	175	180	180	180	185	185	185	185	185	190
CM	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
d	34,5	35	35,5	36	36,5	37	37,5	38	38,5	39	39,5	40	40,5
l	190	190	190	195	195	195	195	200	200	200	200	200	205
CM	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
d	41	41,5	42	42,5	43	43,5	44	44,5	45	45,5	46	46,5	47
l	205	205	205	205	210	210	210	210	210	215	215	215	215
CM	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Série longue

NF E 66-068

d	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3
l	33	41	45	45	50	53	56	56	59	59	62	62	62	66	66
d	3,1	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	4	4,1	4,2	4,5	4,7	4,8	5	5,1	5,2
l	69	69	69	73	73	78	78	78	82	82	87	87	87	87	87
d	5,3	5,5	5,6	5,7	5,8	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	7
l	87	91	91	91	91	97	97	97	97	97	97	97	102	102	102
d	7,5	7,8	8	8,2	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	14
l	102	109	109	109	109	115	115	121	121	128	128	134	134	140	140

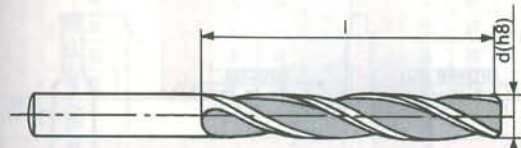
d	47,5	48	48,5	49	49,5	50	50,5	51	52	53	54	55	56
l	215	220	220	220	220	220	225	225	225	225	230	230	230
CM	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
d	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	68	70	72
l	235	235	235	235	240	240	240	245	245	245	250	250	255
CM	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
d	74	75	76	78	80	85	90	95	100	—	—	—	—
l	255	255	260	260	260	265	270	275	280	—	—	—	—
CM	5	5	5	6	6	6	6	6	6	—	—	—	—

* Coupe à droite (coupe à gauche, pour le décolletage, sur demande). Astra. 93502 - Pantin.

FORETS-ALÉSEURS

A queue cylindrique

NF E 66-067



DÉSIGNATION :

Foret-alésure à queue cylindrique, série courte de $\varnothing d$, NF E 66-067.

Dimensions : Mêmes dimensions que le foret série courte.

L'action des arêtes de coupe (3 ou 4) est analogue à celle d'un foret de perçage. Ils sont utilisés :

- en demi-finition, ou finition, pour les alésages à partir d'un perçage ;
- pour aléser des trous bruts avec fortes surépaisseurs.

Tolérance de l'alésage obtenu : $8 < IT < 11$.

Type A

d	D	l	L	d	D	l	L
1	3,15	1,3	29,5	3,15	8	3,9	48
1,6	4	2	33,5	4	10	5	53
2	5	2,5	38	6,3	16	8	68
2,5	6,3	3,1	43	10	25	12,8	97

Type B

d	D	d ₁	l	L	d	D	d ₁	l	L
1	4	2,12	1,3	33,5	3,15	11,2	6,7	3,9	57
1,6	6,3	3,35	2	43	4	14	8,5	5	64
2	8	4,25	2,5	48	6,3	20	13,2	8	77
2,5	10	5,30	3,1	53	10	31,5	21,2	12,8	122

Type R

d	D	l	L	d	D	l	L
1	3,15	3	29,5	3,15	8	8,5	48
1,6	4	4,25	33,5	4	10	10,6	53
2	5	5,3	38	6,3	16	10,7	68
2,5	6,3	6,7	43	10	25	26,5	97

- Le choix d'un centre d'usinage est essentiellement fonction des dimensions de la pièce, des efforts de coupe et de la précision du travail à effectuer.

- Afin de conserver dans le temps les qualités géométriques de la surface conique, utiliser les centres avec un chanfrein de protection (type B).

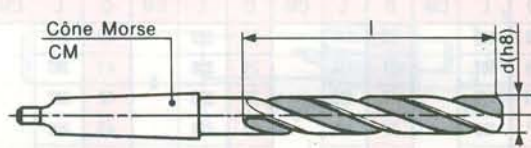
- En principe, les types R sont réservés aux travaux de haute précision.

- Les valeurs du tableau ci-dessous sont données à titre de première estimation.

Diamètre max pièce	≤ 2	2 à 5	5 à 8	8 à 10
Centre de diamètre d	0,5	0,8	1	1,6

A queue cône Morse

NF E 66-071



DÉSIGNATION :

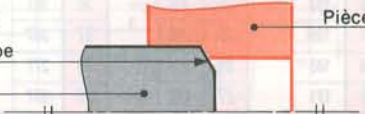
Foret-alésure série normale de $\varnothing d$, NF E 66-071.

Dimensions : Mêmes dimensions que le foret cône Morse.

MODE D'ACTION

Arête de coupe

Foret-alésure

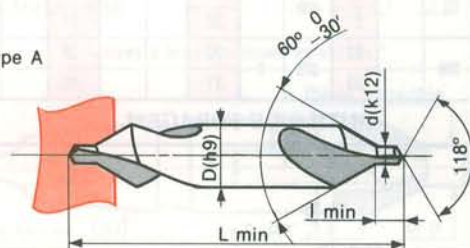


Alésage fini $\varnothing D$	$\varnothing$ Avant-trou	$\varnothing$ Foret-alésure
10 à 20	D-2	D-0,2
20 à 30	brut	D-0,3
30 à 50	brut	D-0,4

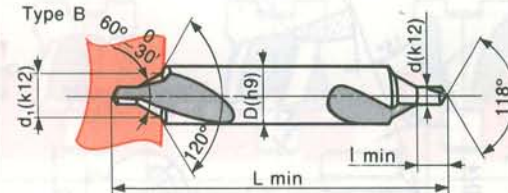
FORET À CENTRER*

NF E 66-051

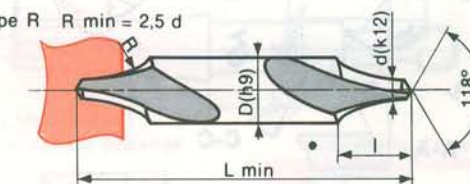
Type A



Type B



Type R R min = 2,5 d



Dimensions des centres : voir § 23.1.

DÉSIGNATION :

Foret à centrer $\varnothing d$, type _____ NF E 66-051.

10 à 16	16 à 25	25 à 45	45 à 80	80 à 120	≥ 120
2	3,15	4	6,3	8	10

PERÇAGE DE TROUS PROFONDS $L > 5D$

Série longue

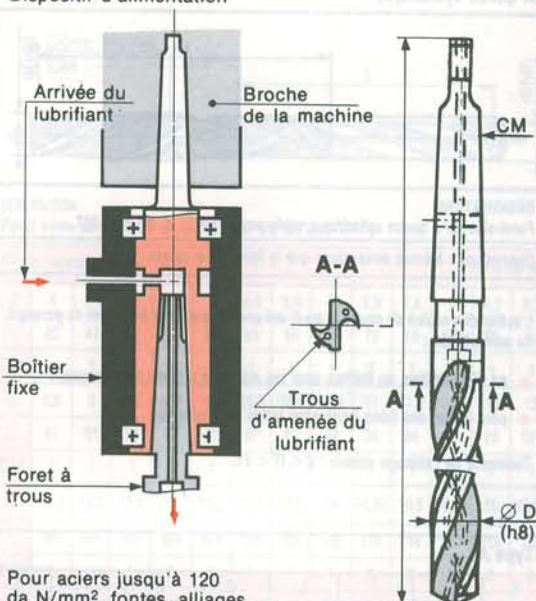
D	L	CM	D	L	CM	D	L	CM	D	L	CM
8	100		20	177		28	222		40	277	
9	107		21	184		29	230	3	41	287	
10	116		18	165	2	30	230		42	287	
11	125		19	171		31	239		43	298	
12	134		20	177		32	248		44	298	
13	134	2	21	184		33	248		45	298	4
14	142		22	191		34	257		46	310	
15	147		23	198		35	257	4	47	310	
16	153		24	206		36	267		48	321	
17	159		25	206	3	37	267		49	321	
18	165		26	214		38	277		50	321	
19	171		27	222		39	277		—	—	

Série extra-longue

D	L	CM	D	L	CM	D	L	CM	D	L	CM
8			16			24			32		
9			17			25			33		
10	215	2	18		2	26			34		
11			19			27			35		
12			20			28	375	3	36	360	4
13			21			29			37		
14			22			30			38		
15	300		23	375	3	31			40		

Foret à trous d'huile, queue cône Morse*

Dispositif d'alimentation

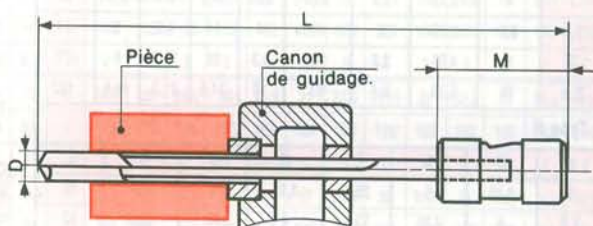
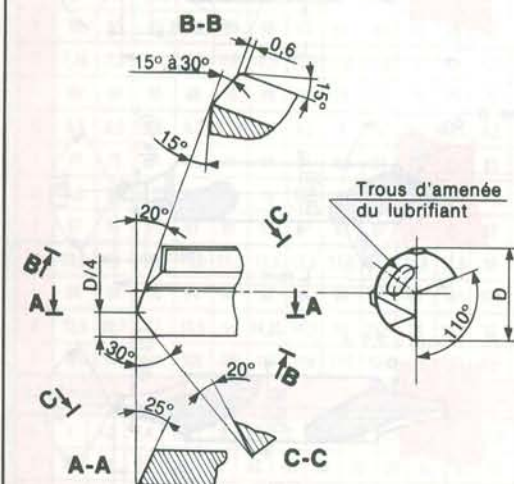


Les trous permettent d'amener le lubrifiant sous pression directement à la pointe du foret. Il en résulte un refroidissement correct et un refoulement des copeaux.

OUTILS DE FORAGE**

Foret 3/4 rond

Carbure K 10



Têtes amovibles à pastilles en carbure

Divers types
de
Ø 18 à 250



Cl. Sandvik SA

Ces forets permettent de réaliser économiquement des trous longs et précis (IT 9 env.).

Les meilleurs résultats sont obtenus sur une machine à forer. Ils possèdent un trou d'amené de lubrifiant sous pression.

Pour vis C

D	d	L	z	D	d	L	z	D	d	L	z
4,2	2	30	3	8,2	5	33	3	21,2	12	67	4
5,2	2,5	30		10,2	6	40		23,2	14	67	
5,2	3	30		14,2	8	49		26,2	16	76	
7,2	4	32	4	17,2	10	49	4	29,2	18	76	

Pour vis CHc

D	d	L	z	D	d	L	z	D	d	L	z
4,2	2,5	30	3	9,2	5	40	3	19,2	12	49	4
5,7	3	30		10,2	6	40		22,2	14	67	
7,2	4	32		13,2	8	45		24,2	16	67	
8,2	5	33	4	16,2	10	49	4	27,2	18	76	

Pour vis H

D	d	L	z	D	d	L	z	D	d	L	z
4,2	2	30	3	12,2	6	40	4	28,2	14	76	4
6,2	3	30		16,2	8	49		32,2	16	76	
8,2	4	33		20,2	10	49		—	—	—	
10,2	5	40	4	24,2	12	67	4	—	—	—	

Pour vis F/90

D	d	L	z	D	d	L	z	D	d	L	z
3,2	1,5	30	3	8,2	4	33	3	20,2	10	49	4
4,2	2	30		10,2	5	40		24,2	12	67	
5,2	2,5	30		12,2	6	40		28,2	14	76	
6,2	3	30	4	16,2	8	49	4	32,2	16	76	

A	10-11...15-16	14-15...19-20	18-19...25-26
---	---------------	---------------	---------------

B	5-6-7-8	6-7-8-9-10	8-9...13-14
---	---------	------------	-------------

F	15	20	25
---	----	----	----

CM	1-2	2-3	2-3
----	-----	-----	-----

A	24-25...33-34	28-29...37-38	38-39...45-46
---	---------------	---------------	---------------

B	10-11...17-18	12-13...19-20	16-17...23-24
---	---------------	---------------	---------------

F	30	35	40
---	----	----	----

CM	2-3	3	3-4
----	-----	---	-----

A	46-48-50-52-55-58-60-65
---	-------------------------

B	20-21...29-30
---	---------------

F	50
---	----

CM	4
----	---

D	15	18	20	20	25	25	30	30
---	----	----	----	----	----	----	----	----

d	6,4	6,4	6,4	8,4	8,4	10,4	10,4	12,4
---	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

h	16	16	16	20	20	25	25	25
---	----	----	----	----	----	----	----	----

CM	1					2		
----	---	--	--	--	--	---	--	--

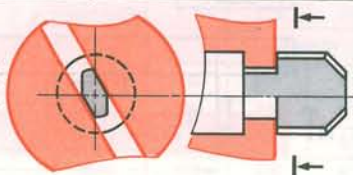
D	35	35	40	45	45	50	55	60
---	----	----	----	----	----	----	----	----

d	12,4	16,4	16,4	16,4	20,4	20,4	20,4	20,4
---	------	------	------	------	------	------	------	------

h	25	30	30	30	35	35	35	35
---	----	----	----	----	----	----	----	----

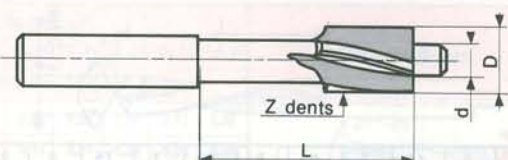
CM	2		2-3			3-4		
----	---	--	-----	--	--	-----	--	--

A chaque opération les fraises sont montées et fixées par un système à « baïonnettes ».

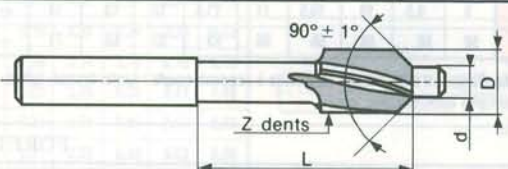


FRAISES À LAMER* **

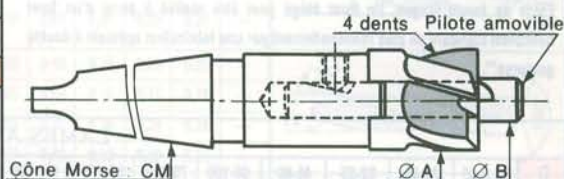
Fraises pour logements de vis cylindriques



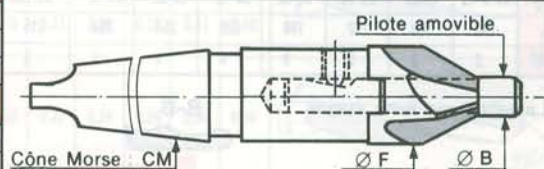
Fraises pour logements de vis coniques



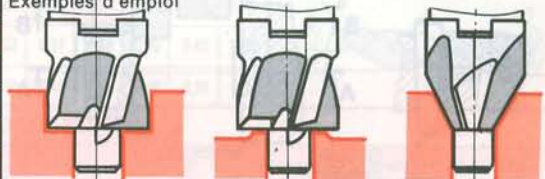
Fraises à lamer cylindriques amovibles**



Fraises à lamer coniques amovibles**



Exemples d'emploi

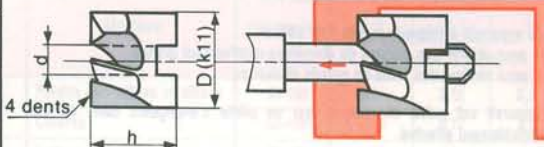


Fraises à lamer en tirant amovibles**



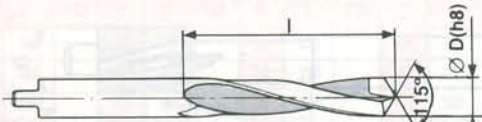
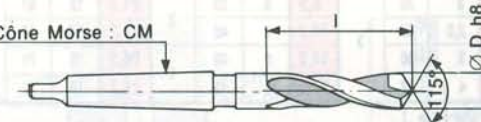
Cône Morse : CM
a et b suivant demande.

Exemple d'emploi



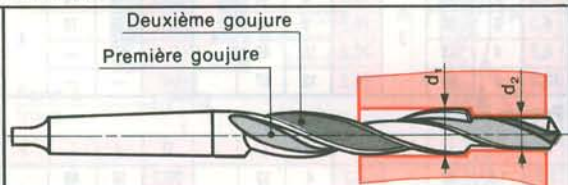
Matière : Carbure

FORETS HÉLICOÏDAUX EN CARBURE (H 20)*

A queue cylindrique											A queue cône Morse												
											Cône Morse : CM 												
D	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	D	10	10,5	11	11,5	12	13	14	15	16	17	18	19
l	25	28	28	32	32	32	40	40	40	50	l	50	50	50	56	56	56	63	63	70	70	80	80
D	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14	—	CM	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
l	50	50	56	56	56	63	63	63	71	—	D	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	—
Particulièrement adaptés aux matériaux à copeaux courts : fonte, bronze, laiton, aciers très durs, bakélite, etc.											l	90	90	90	100	100	100	110	110	110	125	125	—
											CM	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	—

FORETS ÉTAGÉS

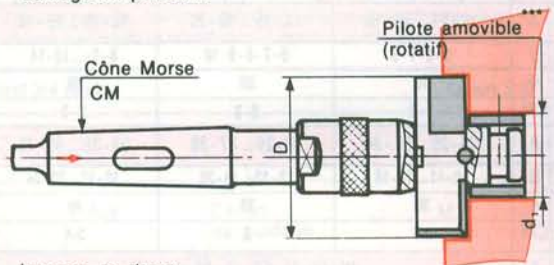
L'exécution de perçages étagés peut être obtenue en une série d'opérations à l'aide de forets étagés. Un foret étagé peut être réalisé à partir d'un foret hélicoïdal standard ou plus rationnellement par une fabrication spéciale à double goujures**.



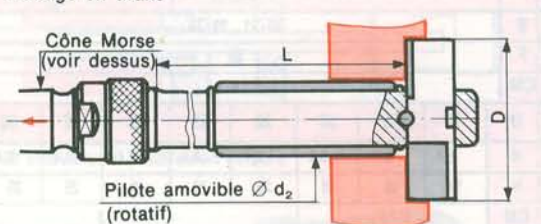
LAMES AMOVIBLES

D	18 à 36	25-40	32-55	45-80	60-100	70-110	80-150	100-260
d ₁	13 à 17	16-22	20-30	26-35	32-46	35-56	43-70	62-107
d ₂	14 à 18	17-22	22-30	28-35	33-42	45-52	55-70	65-108
L	100	133	157	198	220	254	284	315
CM	2	2	3	3	4	4	5	5

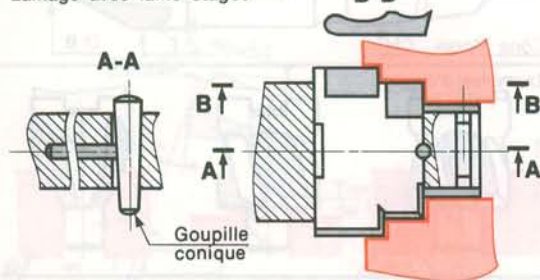
Lamage en poussant



Lamage en tirant



Lamage avec lame étagée



Ces lames amovibles offrent une grande plage en diamètres de lames et permettent la fabrication simple de profils spéciaux. Elles sont intéressantes pour les petites séries.

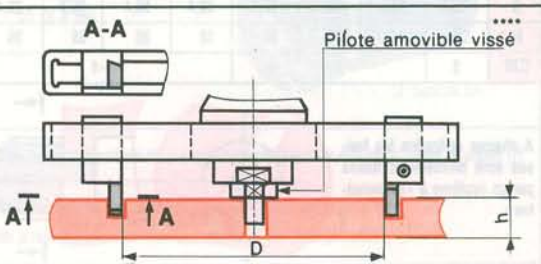
APPAREILS À TRÉPANNER

D	Ø 40 à 410 (en 3 appareils)
h	20 max (par travail à la retourne 40)

Les appareils à trépaner la tôle sont utilisés :

- pour obtenir des disques de diamètres relativement grands,
- pour réaliser des trous de grands diamètres.

L'appareil est guidé en rotation par un pilote s'engageant dans un trou préalablement effectué.



* Sandvik-Coromant.

** Astra. 93502-Pantin.

*** Stokvis. 94200-Ivry.

**** Bilz-Univacier. 93500-Pantin.

45 ■ 3

CONDITIONS DE COUPE

FORETS HÉLICOÏDAUX*

A.R.E.S.

Matière	Vitesse de coupe m/min	Diamètre de perçage										Caractéristiques
		2	2-3	3-4	4-6	6-10	10-15	15-25	25-35	35-50	50-80	
		Avance en millimètre par tour										
Aciers ≤ 600 MPa	25-35	—	—	0,05	0,12	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41	0,48	
600 à 1000 MPa	15-25	—	—	0,04	0,09	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,39	
Plus de 1000 MPa	8-12	—	—	0,04	0,09	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,39	
Fontes douces	25-35	—	—	0,07	0,15	0,22	0,29	0,36	0,44	0,55	0,70	
Aciers 1000 à 1200 MPa	10-15	—	—	0,03	0,07	0,11	0,15	0,20	0,24	0,28	0,32	
1200 à 1400 MPa	5-10	—	—	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	
Fontes dures	12-20	—	—	0,05	0,12	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41	0,48	
Bronzes d'aluminium	25-35	—	—	0,07	0,16	0,23	0,31	0,39	0,49	0,62	0,80	
Bronzes copeaux longs	25-35	—	—	0,07	0,16	0,23	0,31	0,39	0,49	0,62	0,80	
Aciers inoxydables genre Z 10 CNT 18-08	8-12	0,03	0,04	0,05	0,08	0,11	0,15	0,20	0,25	0,30	—	
Alliages réfractaires 800 à 1000 MPa	6-10	0,02	0,03	0,04	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	—	
All. réfractaires ≤ 1400 MPa	4-6	—	—	0,03	0,05	0,08	0,10	0,15	0,20	0,20	—	
1400 à 1800 MPa	2-3	—	—	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,15	0,15	—	
Ac. 12 % de manganèse	4-6	0,02	0,03	0,04	0,05	0,08	0,12	0,20	0,25	0,25	—	
Ac. traités 1400 à 1600 MPa	5-10	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,15	—	
Laitons	50-100	—	—	0,05	0,12	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41	0,48	
Bronzes	25-60	—	—	0,05	0,12	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41	0,48	
Matières plastiques dures	15-35	—	—	0,14	0,19	0,22	0,22	0,24	0,24	0,30	0,30	
Alliages légers	60-200	—	—	0,07	0,16	0,23	0,31	0,39	0,49	0,62	0,80	
Cuivres	40-70	—	—	0,07	0,16	0,23	0,31	0,39	0,49	0,62	0,80	
Matières plastiques tendres	15-20	—	—	0,08	0,10	0,12	0,12	0,16	0,16	0,20	0,20	

FORETS HÉLICOÏDAUX**

Carbure

Matière	Vitesse de coupe m/min	Diamètre de perçage					Matière	Vitesse de coupe m/min	Diamètre de perçage				
		6	10	14	20	30			6	10	14	20	30
		Avance en mm/tr							Avance en mm/tr				
Aciers alliés	15-30	0,04	0,05	0,06	0,08	0,08	Fontes dures	30-60	0,06	0,10	0,15	0,25	0,30
Aciers à outils	8-12	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	Laitons - Bronzes	50-80	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12
Fontes douces	15-80	0,10	0,15	0,20	0,30	0,35	Matières plastiques dures	50-80	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15

FORET 3/4 ROND**

Carbure

Matière	Vitesse de coupe m/min	Diamètre de perçage			Matière	Vitesse de coupe m/min	Diamètre de perçage		
		6,5	12,5	20			6,5	12,5	20
		Avance en mm/tr					Avance en mm/tr		
Aciers non alliés	80-125	0,02	0,06	0,1	Fontes non alliées et alliées	63-100	0,1	0,12	0,2
Aciers alliés	70-100	0,02	0,05	0,1	Cuivres	63-100	0,05	0,12	0,3
Aciers cimentés-trempés	50-80	0,02	0,05	0,1	Laitons	70-130	0,02	0,12	0,12
Aciers inoxydables	50-90	0,02	0,05	0,1	Alliages d'aluminium	125-200	0,05	0,12	0,25

* D'après Astra.

** D'après Sandvik-Coromant.

45.4 Efforts de coupe Puissance absorbée

La résultante des efforts de coupe s'exerçant sur une arête admet trois composantes :

- $\vec{f}_c$ (effort tangentiel de coupe),
- $\vec{f}_a$ (effort d'avance),
- $\vec{f}_p$ (effort de pénétration).

Si le foret est parfaitement affûté et si le matériau de la pièce est homogène, on a :

$$\vec{f}_c = \vec{f}_{c1}; \quad \vec{f}_a = \vec{f}_{a1}; \quad \vec{f}_p = \vec{f}_{p1}.$$

Les composantes $\vec{f}_p$ et $\vec{f}_{p1}$ égales et pratiquement opposées s'annulent.

La résultante des efforts d'avance $\vec{F}_a = 2\vec{f}_a$ est portée par l'axe du foret.

Les forces $\vec{f}_c$ et $\vec{f}_{c1}$ constituent le couple résistant au forage.

On a les résultats expérimentaux suivants*.

Effort d'avance

$$F_a \approx k.f.d.$$

F_a : effort d'avance en newtons (N),

f : avance en mm,

d : diamètre du foret en mm,

k : coefficient déterminé expérimentalement.

REMARQUE :

L'amincissement de l'âme du foret (affûtage du type 3 pentes par exemple § 45.1) réduit notablement l'effort de pénétration :

- 75 % environ pour les aciers,
- 50 % environ pour les alliages légers.

Puissance nécessaire à la coupe

$$P \approx K.f.d.v.$$

P : puissance nécessaire à la coupe en watts (W),

f : avance en mm/tr,

d : diamètre du foret en mm,

v : vitesse de coupe en m/min,

K : coefficient déterminé expérimentalement.

Puissance absorbée par la machine

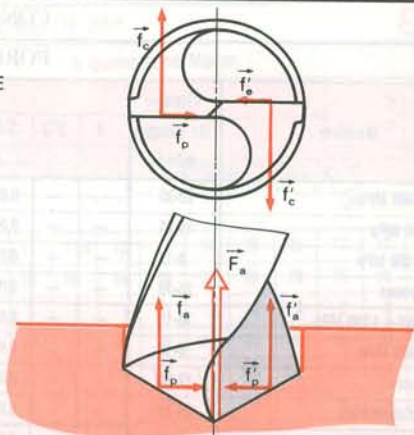
$$P_a = \frac{P}{\eta}$$

η : rendement de la machine.

* D'après G.S.P.

** Prononcer « éta ».

EFFORTS DE COUPE



Matière	K	k
Aciers R ≤ 600 MPa	11	1000
Aciers R > 600 MPa	11,5	1200
Aciers inoxydables	15	1300
Aciers au nickel-chrome	14	900
Aciers au chrome-molybdène	13	1600
Fontes grises	8	700
Fontes GS	7,5	1100
Laitons	3,5	800
Alliages d'aluminium	5	850

Valeurs données à titre de première estimation.

APPLICATION

Soit à évaluer l'effort d'avance et la puissance absorbée par une opération de perçage sur une pièce en XC 32 (R ≈ 550 MPa).

- Diamètre $d = 12$ mm.
- Avance $f = 0,2$ mm/tr.
- Vitesse de coupe $v = 25$ m/min.
- $k \approx 1000$.
- $K \approx 11$.
- Rendement de la machine $\eta = 0,8$.

Effort d'avance

$$F_a \approx k.f.d.$$

$$F_a \approx 1000 \times 0,2 \times 12.$$

$$F_a \approx 2400 \text{ N.}$$

Puissance nécessaire à la coupe

$$P \approx K.f.d.v.$$

$$P \approx 11 \times 0,2 \times 12 \times 25.$$

$$P \approx 660 \text{ W.}$$

Puissance absorbée par la machine

$$P_a = \frac{P}{\eta} = \frac{660}{0,8}$$

$$P_a \approx 825 \text{ W.}$$

1 MPa = 1 N/mm².

45 ■ 5

MACHINES DE PERÇAGE ET D'ALÉSAGE

Perceuse d'établi Adam* ME 13G

Cône de broche	CM1
Capacité de perçage dans l'acier à 600 MPa	13
Fréquence de rotation de la broche (tr/min)	330 à 5100
Course sensitive de la broche	60
Gamme des avances (une seule, tr/min)	0,08
Passage sous broche min-max	220 405
Distance foret-colonne	215
Surface de la table	285 x 270
Puissance du moteur	0,4 kW



Cl. Adam

Perceuse à colonne Adam MC 32F

Cône de broche	CM4
Capacité de perçage dans l'acier à 600 MPa	40
Fréquence de rotation de la broche (tr/min)	90 à 1000
Descente automatique de la broche (course)	150
Gammes des avances de la broche (mm/tr)	0,05 à 0,15
Passage sous broche min-max	110 675
Distance foret-colonne	280
Surface de la table	305 x 400
Puissance du moteur	1,3 kW



Cl. Adam

EMPLOI : Petits travaux d'outillage. Lorsqu'elles sont alignées, on peut les utiliser avec des petits montages de perçage (perceuses à broches alignées P.B.A.).

EMPLOI : Travaux d'outillage — taraudage jusqu'à M27.

Perceuse radiale GSP** 405/45-K160

Portée	1600
Course de la tête	1315
Course du bras	800
Course de la broche	325
Puissance	4 kW
Cône de broche	CM5
Fréquence de rotation de la broche (tr/min)	40 à 1800
Avance de broche (mm/tr)	0,045 à 0,5
Capacité de perçage dans l'acier à 600 MPa	45



Cl. Forest

Perceuse aléuseuse à CN GSP type 253 ACN

Course X	400
Course Y	300
Course Z	325
Course W	450
Puissance	5 kW
Cône de broche (serrage automatique)	ISO 40
Fréquence de rotation de la broche (tr/min)	40 à 1800
Avance de broche (mm/min)	0 à 700
Capacité de perçage dans l'acier à 600 MPa	45



Cl. G. S. P.

EMPLOI : Perçage — alésage — taraudage de pièces de grandes dimensions en petites et moyennes séries.

EMPLOI : Perçage — alésage — taraudage de pièces précises, de moyennes dimensions en petites et moyennes séries.

Tête multibroches BIG-JK D4C-64***

Nombre de forets	4
Foret Ø min	0,5
Foret Ø max	13
Écart min	64
Écart max	163
Pince	GC 20-D
Vitesse max (tr/min)	3000
Rapport de rotation	1 : 1
Poids (sans foret)	15 kg



Dipram

Unité d'usinage Clément****

Nez de broche	CNOM0 28-36
Capacité de perçage dans l'aluminium	30
Capacité de taraudage	—
Moteur de broche	1,3 kW
Vitesse min-max (tr/min)	325-5000
Avance min-max	—
Poussée max	2000 daN
Course min	315
Course max	630
Excentration à 200	0,01



Cl. Clément

EMPLOI : Perçage de plusieurs trous simultanément (travaux de série sur perceuses et CN).

EMPLOI : Perçage — alésage — taraudage — lamage (travaux de séries).

* Adam. 37170 Saint-Avertin.

** G. S. P. 28200 Châteaudun.

*** Dipram. 78313 Maurepas.

**** Clément. 95100 Argenteuil.

46 Alésage

L'alésage est un ensemble d'opérations d'usinage permettant l'obtention de surfaces de révolution généralement intérieures.

En principe, la notion d'alésage sous-entend :

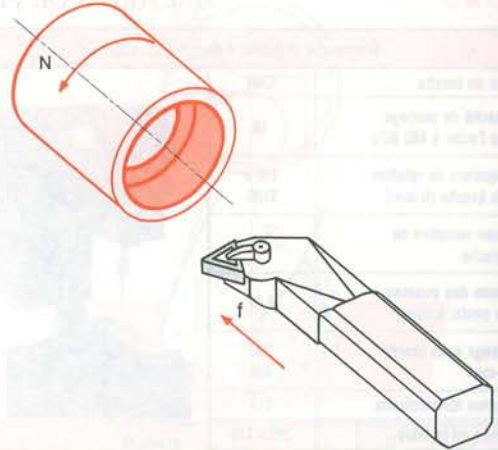
- une bonne précision dimensionnelle (qualité 6, 7, 8) ;
- une bonne précision géométrique (cylindricité, circularité) ;
- un bon état de surface (Ra 0,4 à 1,6 μm en finition).

46.1 Principe de réalisation

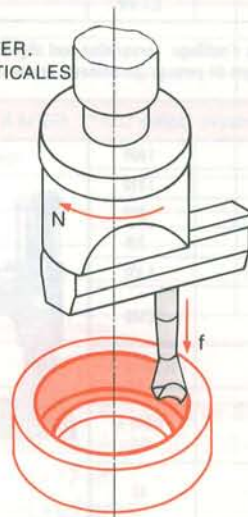
L'usinage par alésage d'une surface cylindrique nécessite :

- un mouvement de coupe (rotation) ;
- un mouvement d'avance (translation).

ALÉSAGE AU TOUR

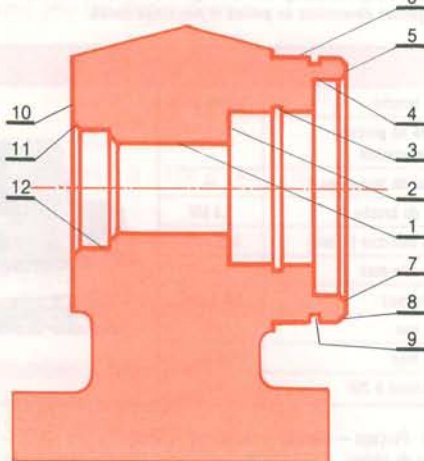


ALÉSAGE SUR MACHINE A POINTER. FRAISEUSES VERTICALES

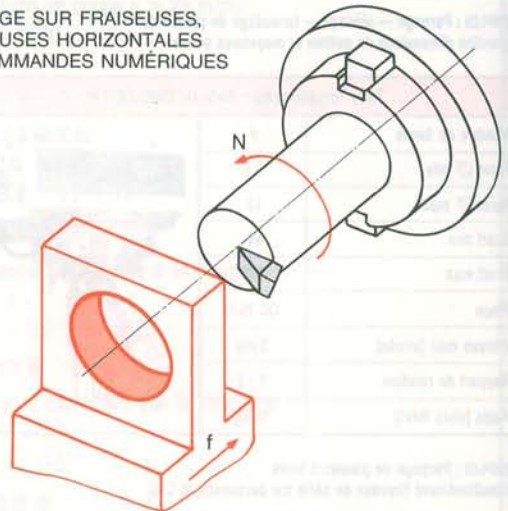


MACHINES ET MOUVEMENTS		
Machine	Mouvement de coupe	Mouvement d'avance
Tour	Pièce	Outil
Pointeuses, aléseuses verticales	Outil	Outil
Fraiseuses	Outil	Pièce
Aléseuses-fraiseuses horizontales		
PRINCIPALES FORMES OBTENUES		
1 Alésage intérieur	7 Chanfrein intérieur	
2 Dressage	8 Chanfrein extérieur	
3 Gorge	9 Gorge extérieure	
4 Lamage	10 Dressage « en tirant »	
5 Surfaçage	11 Chanfrein « en tirant »	
6 Tournage	12 Lamage « en tirant »	

FORMES PRINCIPALES OBTENUES EN ALÉSAGE



ALÉSAGE SUR FRAISEUSES, ALÉSEUSES HORIZONTALES ET COMMANDES NUMÉRIQUES



46.2 Outils de forme

Les outils utilisés en alésage sont de deux types :

- Les outils de forme (alésirs, forets-alésirs).
- Les outils d'enveloppe (voir § 46.1 et 46.6).

46.21 Alésirs

46.211 Description

Les alésirs sont dérivés du foret. Ils comportent deux parties essentielles :

- La partie active est constituée de dents formant de véritables petits outils de coupe.
- La queue permet l'entraînement ; sa forme varie suivant le mode de travail :

- travail manuel (fabrication unitaire ou très petite série). La queue est cylindrique et comporte un carré d'entraînement,
- travail sur machine. La queue est cylindrique pour les petits diamètres et conique pour les diamètres ≥ 13 mm.

REMARQUE :

Le listel correspondant à chaque dent guide l'outil, il est rectifié avec une légère conicité vers l'arrière ($c \approx 0,02$).

46.212 Emploi

Les outils de forme sont utilisés pour l'ébauche (foret-alésur) et pour la finition (alésirs) des cylindres et cônes de faible pente.

Un outil de forme permet d'obtenir une bonne précision dimensionnelle mais ne permet pas de corriger un défaut de position. La position de l'alésage est généralement obtenue en demi-finition à l'aide d'un outil d'enveloppe.

46.213 Tolérance

La tolérance d'un alésur est fonction de la tolérance de l'alésage à obtenir (voir fig. 2).

La qualité de l'alésage qu'il est possible d'obtenir est gravée sur l'alésur, par exemple 20 H8.

APPLICATION :

Calcul de la tolérance d'un alésur pour réaliser un alésage $\varnothing$ 20 H8.

Tolérance de l'alésage 20 H8, $IT = 0,033$.

Tolérance de l'alésur = $0,35 IT = 0,012$.

$\varnothing$ maximal de l'alésur = $20,033 - 0,15 IT = 20,028$.

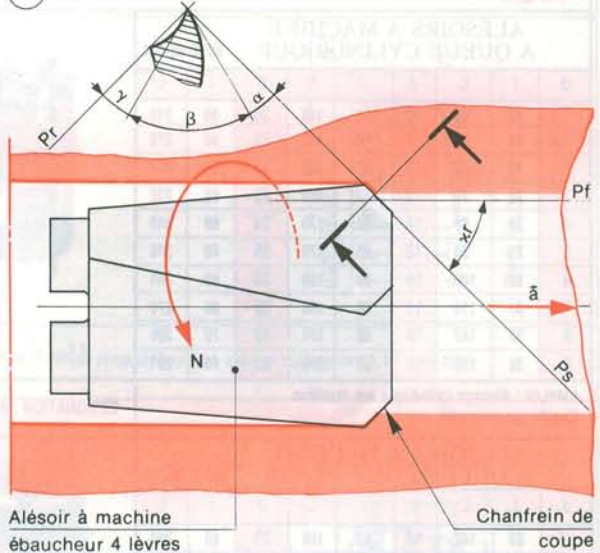
$\varnothing$ minimal de l'alésur = $20,028 - 0,35 IT = 20,016$.

+ 0,028

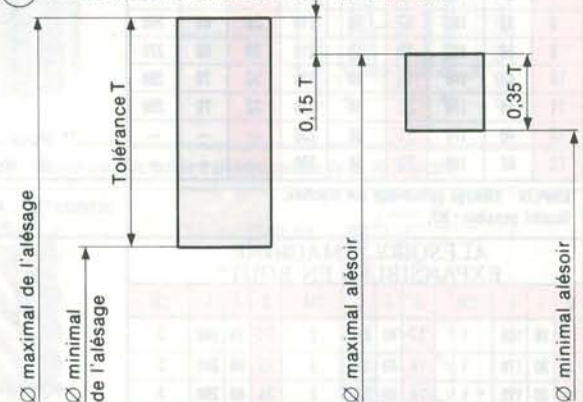
L'intervalle de tolérance 0,012 et les écarts + 0,016

donnent pour l'alésur la tolérance m6 (G.D. 14).

1 OUTIL DE FORME - ANGLES CARACTÉRISTIQUES



2 TOLÉRANCE D'UN ALÉSUR - NF E 74-100



46.214 CONDITIONS DE COUPE*

Matière (Rr en MPa **)	Vitesse de coupe (m/min)	Diamètre (mm)	Avance (mm/tr)	Surépaisseur au rayon (mm)
Acier Rr = 400	20	5 à 10	0,06 à 0,10	0,10
Acier 400 < Rr < 600	16	10 à 15	0,10 à 0,15	0,15
Acier 600 < Rr < 800	12	15 à 20	0,15 à 0,20	0,20
Acier 800 < Rr < 1000	8	20 à 35	0,20 à 0,30	0,30
Acier 1000 < Rr < 1200	6	35 à 50	0,30 à 0,50	0,40
Fonte douce	12 à 18	50 à 70	0,50 à 0,80	0,50
Fonte dure	8 à 12	> 70	0,80 à 1	0,60
Alliages légers	20 à 60	—	—	—

REMARQUES :

- Les avances peuvent varier largement en fonction de l'état de surface désiré.
- Une avance trop faible donne souvent un alésage trop grand.
- Une avance trop forte donne un alésage à la cote mais un mauvais état de surface.

* D'après Astra. 93502-Pantin.

** 1 MPa = 1 N/mm².

46.3

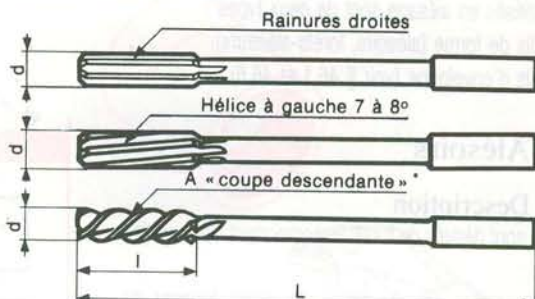
ALÉSOIRS CYLINDRIQUES*

ALÉSOIRS A MACHINE
A QUEUE CYLINDRIQUE

NF E 66-014

d	l	L	d	l	L	d	l	L
1	18	60	10	40	140	20	50	210
1,5	18	60	11	40	145	21	55	215
2	18	60	12	40	155	22	55	225
3	20	70	13	45	160	23	60	230
4	22	80	14	45	170	24	60	240
5	25	90	15	45	175	25	60	245
6	28	100	16	45	180	26	60	250
7	30	110	17	50	190	28	65	270
8	32	120	18	50	195	30	70	280
9	36	130	19	50	205	32	70	290

EMPLOI : Alésage cylindrique sur machine.
Qualité possible : H7.



*1 < d < 20 Coupe à droite

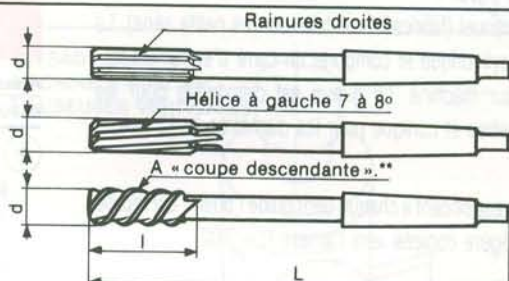
DÉSIGNATION : Alésoir à machine de 16, NF E 66-014.

ALÉSOIRS A MACHINE
A QUEUE CONE MORSE

NF E 66-015

d	l	L	d	l	L	d	l	L
5	25	140	14	45	180	23	63	240
6	25	140	15	45	180	24	63	260
7	28	150	16	45	200	25	63	260
8	32	155	17	50	210	26	63	260
9	36	160	18	50	210	28	63	270
10	40	170	19	50	220	30	70	290
11	40	170	20	50	220	32	70	290
12	40	170	21	56	230	—	—	—
13	45	180	22	56	230	—	—	—

EMPLOI : Alésage cylindrique sur machine.
Qualité possible : H7.



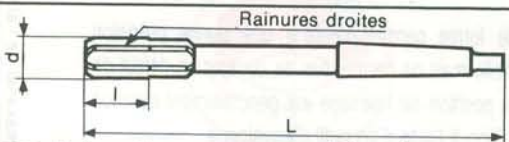
** Pour alésages débouchants ou borgnes avec possibilité de logement des copeaux.

DÉSIGNATION : Alésoir à machine de 16, NF E 66-015.

ALÉSOIRS A MACHINE
EXPANSIBLES EN BOUT*

d	l	L	CM	d	l	L	CM	d	l	L	CM
8	26	155	1	17	40	210	2	24	55	260	3
10	30	170	1	18	40	210	2	25	60	260	3
12	30	170	1	19	40	220	2	26	60	260	3
13	30	180	1	20	50	220	2	27	60	270	3
14	30	180	1	21	50	230	2	28	60	270	3
15	40	180	1	22	55	230	2	29	60	280	3
16	40	200	2	23	55	240	2	30	60	290	3

EMPLOI : Possibilité de réglage en cas de tolérances serrées.



Le corps de la partie coupante est muni d'un cône intérieur rectifié, le réglage s'effectue à l'aide d'une cheville conique rectifiée; ainsi toutes les arêtes de coupe restent concentriques après l'ajustage.

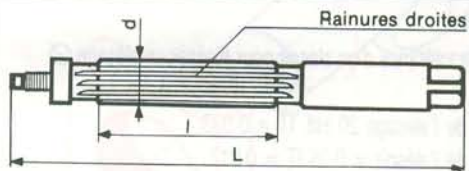
Coupe à droite — Réglage radial = 0,15 mm

DÉSIGNATION : Alésoir à machine de 16. Expandible en bout.

ALÉSOIRS A MAIN RÉGLABLES*

d	l	L	d	l	L	d	l	L	d	l	L
4	35	90	11	55	145	18	75	195	25	95	245
5	39	95	12	55	155	19	75	205	26	95	250
6	40	115	13	60	160	20	80	210	28	105	270
7	45	120	14	65	170	21	85	215	30	110	280
8	50	125	15	70	175	22	85	225	—	—	—
9	50	130	16	70	180	23	90	230	—	—	—
10	55	140	17	70	190	24	90	240	—	—	—

EMPLOI : Alésage à la main (ajustage).
Faible enlèvement de copeaux.



Le réglage radial s'effectue à l'aide d'une vis à bout conique. Il est limité par l'élasticité de l'acier et son amplitude est égale à d/100.

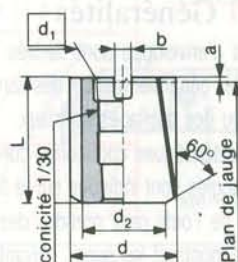
DÉSIGNATION : Alésoir à main de 16. Réglable.

46■4

ALÉSOIRS CREUX

ALÉSOIRS CREUX D'ÉBAUCHE NF E 66-002

d	d ₁	d ₂	L	a max	b	l ₃ min
19,7-20,7-21,7-22,7	10	—	40	—	—	—
23,7 à 29,7-31,6-34,6	13	d-5	45	0,6	4,3	5,4
35,6-37,6-39,6-41,6-44,6	16	d-6	50	0,6	5,4	6,2
47,6-49,6-51,5	19	d-8	56	0,7	6,4	7,8
54,5-55,5-59,5	22	d-9	63	0,7	7,4	8,6
62,5-64,5-66,5-69,5-74,5	27	d-11	71	0,7	8,4	9,3
75 à 90	32	d-13	80	0,9	10,4	10,5
90 à 101,6	40	d-15	90	0,9	12,4	11,2

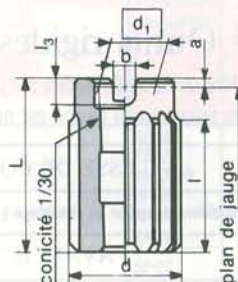


EMPLOI : Alésage ébauche sur machine.

DÉSIGNATION : Alésoir creux d'ébauche à alésage conique de 30, NF E 66-002.

ALÉSOIRS CREUX DE FINITION NF E 66-001

d	d ₁	l	L	a max	b	l ₃ min
20-21-22-23	10	28	40	0,5	4,3	5,4
24-25-26-27-28-29-30	13	32	45	0,6	4,3	5,4
30-32-35	16	36	50	0,6	5,4	6,2
36-38-40-42	19	40	56	0,7	6,4	7,8
45-48-50	22	45	63	0,7	7,4	8,6
52-55-56-60	27	50	71	0,7	8,4	9,3
60-63-65-67-70	32	56	80	0,9	10,4	10,5
75-80... 85	40	63	90	0,9	12,4	11,2
85 à 100	50	71	100	0,9	14,4	13,1

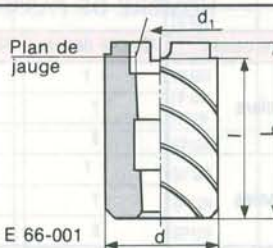


EMPLOI : Alésage finition sur machine.

DÉSIGNATION : Alésoir creux de finition à alésage conique de 30, NF E 66-001.

ALÉSOIRS CREUX DE FINITION
« À COUPE DESCENDANTE »*

d	l	L	d ₁	d	l	L	d ₁
20-21-22-23	42	49	10	52-55-56-60	72	85	27
24-25-26-27-28-29-30	48	57	13	63-65-67-70	—	—	32
30-32-35	52	62	16	75-80-85	—	—	40
36-38-40	60	71	19	90-95-100	—	—	50
45-48-50	66	78	22	105-110-115-120	—	—	50

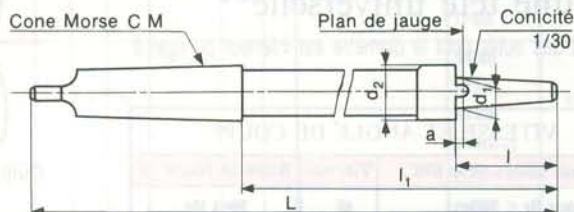
a, b, l₃ suivant NF E 66-001

EMPLOI : Alésages débouchants ou borgnes, avec possibilité de logement des copeaux, les copeaux étant chassés par devant. Bel état de surface et pas de rayure.

DÉSIGNATION : Alésoir creux de finition de 30 à coupe descendante.

ARBRES PORTE-ALÉSOIR NF E 66-031

Alésoir d	d ₁	l	d ₂	l ₁	L	a min	a max	C.M.
19,9 à 23,6	10	40	18	140	220	0,8	1,2	2
23,6 à 30	13	45	21	151	250	0,9	1,4	3
30 à 35,5	16	50	27	162	261	0,9	1,4	3
35,5 à 42,5	19	56	32	174	298	1,1	1,7	4
42,5 à 50,8	22	63	39	188	312	1,1	1,7	4
50,8 à 60	27	71	46	203	359	1,1	1,7	5
60 à 71	32	80	56	220	376	1,4	2,2	5
71 à 85	40	90	65	240	396	1,4	2,2	5
85 à 101,6	50	100	80	260	416	1,4	2,2	5



EMPLOI : Montage des alésoirs creux d'ébauche et de finition.

DÉSIGNATION : Porte-alésoir de 30, NF E 66-031.

46.5 Outils d'enveloppe

46.51 Généralités

Les outils d'enveloppe sont dérivés des outils de tour. Ils sont montés généralement sur des barres d'alésage, des têtes à aléser ou des outillages spéciaux.

Leurs caractéristiques communes concernent la partie active dont les angles sont indiqués sur la figure ci-contre.

Le corps de l'outil peut prendre des formes très variables comme le montrent les pages suivantes.

46.52 Conditions de coupe

Elles peuvent être très variables suivant la rigidité des outils et des porte-outils utilisés.

46.6 Outils rigides

On considère qu'ils sont montés sur une barre d'alésage de dimensions telles que la flexion est négligeable.

VITESSE DE COUPE		
Voir les conditions de coupe en chariotage § 44.12 et 44.132		
AVANCE		
Ébauche : 0,2 à 0,3 mm/tr. Finition : ≤ 0,1 mm/tr.		
NOMBRE DE PASSES		
Matière usinée	Qualité désirée	Nombre de passes
Aciers	< 7	4
	7	3
	8	2
Fontes	< 7	3
	7	2
	8	1

46.7 Outils montés sur une tête universelle**

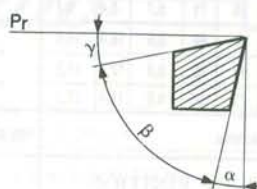
Ce sont des outils dont le diamètre est inférieur ou égal à 16 mm.

VITESSE ET ANGLE DE COUPE		
Matériaux usinés (Rr en MPa*)	V (m/min)	Angle de coupe (°)
Acier doux Rr < 700	60	30° à 35°
Acier mi-dur 700 < Rr < 800	50	20° à 25°
Acier dur 800 < Rr < 1 000	40	16° à 20°
Acier inoxydable	20	20°
Laiton	80	8° à 10°
Alliage d'aluminium	80	40°
Fonte douce	25	5° à 10°

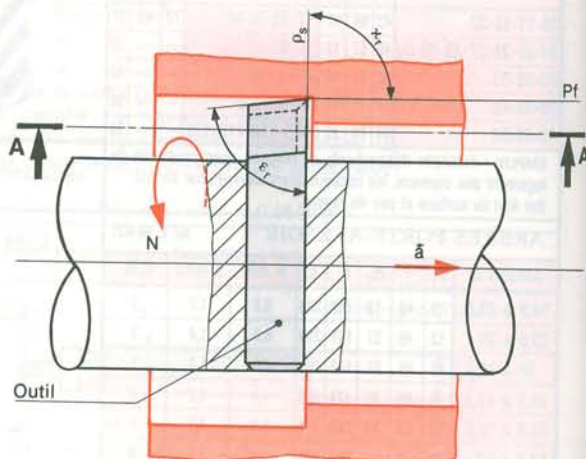
1 MPa = 1 N/mm².



OUTIL D'ENVELOPPE-ANGLES CARACTÉRISTIQUES



A - A



NOMBRE DE PASSES*

Pour obtenir une qualité ≤ 7, compte tenu des flexions possibles, il est conseillé de faire en finition deux à trois passes égales relativement faibles ≈ 0,1 mm.

* Outil flexible monté sur une tête à aléser dans le cas de travaux d'outillage.

** Voir chapitre 46.14.

46 ■ 8 Choix d'un porte-plaquette à aléser

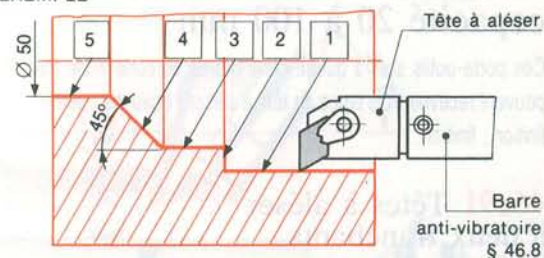
La forme de la pièce à usiner est un critère déterminant pour le choix d'un type d'outil.

Le tableau ci-dessous permet le choix d'un porte-plaquette en fonction de cinq types d'opérations élémentaires.

EXEMPLE :

L'outil 471-5 permet d'effectuer les opérations ① à ⑤

EXEMPLE



CHOIX D'UN PORTE-OUTIL A ALÉSER EN FONCTION DE L'OPÉRATION A EFFECTUER													
Types de porte-plaquettes	x _r	Ø min	① Chariotage longitudinal	② Dressage de face	③ Copiage pente ascend.	④ Copiage pente descend.	⑤ Remontée de face	Référence plaquettes	Référence outils Sandvik				
	90°	12	x		Angle δ				TC GR TP GR TP GR-21 TP MR TP GN TP UN	136-9			
					75°	60°	45°	30°				30°	25°
	75°	12	x		x	x	x					SP GR SP MR SP GN SP UN	131-9
	90°	32	x		x	x	x					TC GR TP GR TP GR-21 TP MR TP GN TP UN	479-9
	75°	32	x		x	x	x					SP GR SP MR SP GN SP UN	474-9
	93°	32						x				TC GR TP GR TP GR-21 TP MR	477-9
	75°	80	x		x	x	x					SN MA SN MG SN MM SN MM-71	474-3
	95°	80	x	x	x	x	x	x				CN MA CN MG CN MM CN MM-71	471-31
	93°	40	x	x	x	x	x	x	x			KNUX	471-5

x_r : Angle de direction d'arête (voir 44.52).

Ø min : Diamètre minimum du perçage.

δ angle max pouvant être réalisé.

D'après Sandvik. 45100 - Orléans.

46.9 Porte-outils à aléser capacité 20 à 100 mm

Ces porte-outils sont à queue cône morse ou cône 7/24. Ils peuvent recevoir trois types de tête à aléser : ébauche ; demi-finition ; finition.

46.91 Têtes à aléser à deux tranchants

Ces têtes sont utilisées pour l'ébauche et la demi-finition (voir fig. 2a).

Les deux couteaux sont réglables axialement et radialement :

- Dans le cas d'une ébauche légère ou d'une demi-finition, les deux couteaux peuvent se situer sur le même diamètre et dans le même plan.

- Dans le cas d'une ébauche importante, il est nécessaire de décaler les outils axialement et radialement.

46.92 Têtes à aléser à un tranchant

Ces têtes sont utilisées pour la demi-finition et la finition d'alésages précis :

- Les modèles employés en demi-finition sont réglables radialement par vis micrométrique (voir fig. 2b).
- Les modèles employés en finition sont réglables radialement par bague.

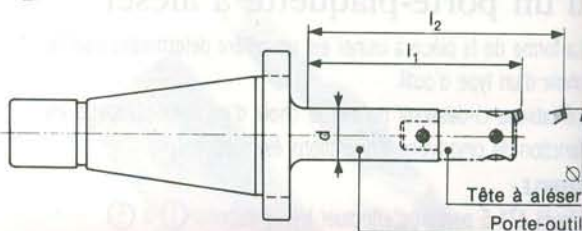
REMARQUES :

- La longueur L n'est pas influencée par le réglage radial.
- Le blocage du mouvement radial est réalisé à l'aide d'une vis.

46.93 Montage des têtes à aléser

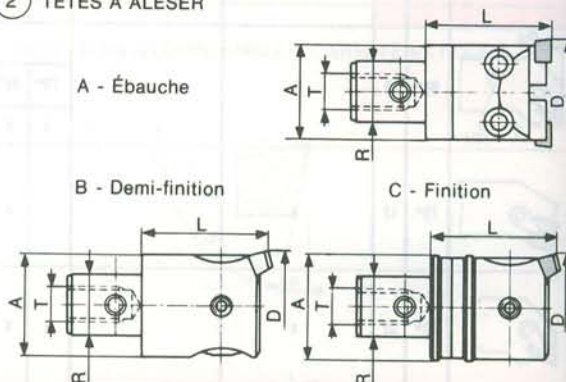
La mise en position de la tête à aléser sur le porte-outil est réalisée à l'aide d'un centrage et d'un appui-plan ; une vis à bout conique assure l'orientation et le maintien en position.

① PORTE-OUTIL A ALÉSER - CAPACITÉ 20 à 100 mm



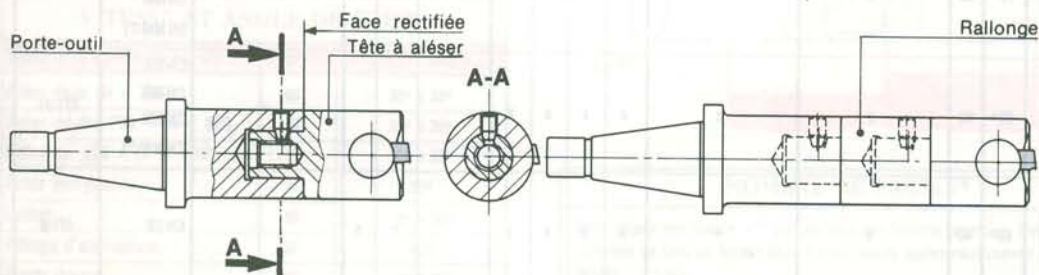
Capacité Ø mm	d	l ₁	l ₂	Porte-outil	Tête à aléser
25-26	19	80	100	ISO 30 40 50	Ébauche
25-33	24	100	130		
32-42	31	130	160		
41-54	39	160	200	Morse 2 3 4 5	1/2 finition
53-70	50	160	200		
68-100	64	160	200		
				SA 30 40	Finition

② TÊTES A ALÉSER



Capacité d'alésage D (mm)	A	L	R	T
20-26	19,5	29,5	11	M 6
25-33	24,5	35,5	14	M 8
32-42	31,5	40	18	M 10
41-54	39,5	47	22	M 12
53-70	50,5	57	28	M 16
68-100	64,3	71	36	M 20

③ FIXATION D'UNE TÊTE A ALÉSER



46.12 Barres d'alésage et outils micrométriques*

46.121 Description et emploi

Ces outils à réglage micrométrique se montent sur des barres d'alésage standard du constructeur ou sur des barres conçues et réalisées par l'utilisateur.

La section carrée ou circulaire des outils varie de 4 à 19 mm pour les outils en acier rapide et de 8 à 32 mm pour les outils à pastille carbure à jeter ou brasée.

Les outils s'adaptent à tous les diamètres de barre compris entre 18 et 190 mm.

Les outils sont étudiés pour être montés perpendiculairement à l'axe de la barre d'alésage ou obliquement ($\alpha = 53^\circ 8'$). Une vis pointeau immobilise la pince de l'outil par rapport à la barre et une vis de serrage à bout plat immobilise l'outil par déformation de la pince élastique.

Le réglage radial s'effectue en dévissant la vis de serrage et en agissant sur le tambour gradué de la vis de réglage (1 division = 0,02 au diamètre).

46.122 Cartouche

La cartouche se compose :

- d'une pince 1 à section circulaire ou carrée ;
- d'un ressort demi-lune 2 ;
- d'une vis de réglage 3 avec tambour gradué.

A chaque section d'outil correspondent quatre longueurs **R**, **S**, **T**, **U** et une seule pince de longueur **A**.

Cette pince en acier non trempé peut être raccourcie à la dimension voulue, comprise entre **A** et **(F + R)**.

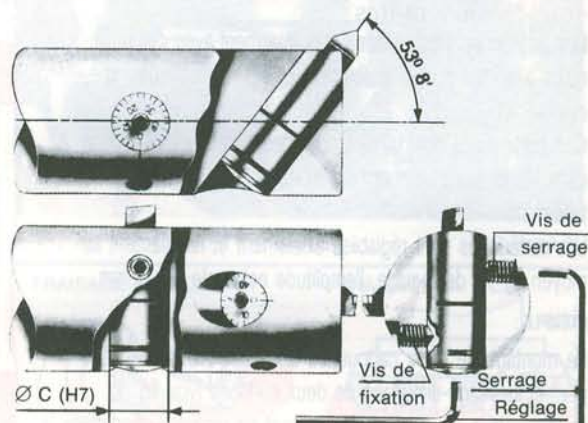
46.123 Montage et adaptation

- 1° Scier la pince pour l'adapter au diamètre de la barre.
- 2° Positionner la pince dans l'alésage C à l'aide de la vis de serrage.
- 3° Effectuer un centre à 120° pour la vis de fixation.
- 4° Serrer la vis de fixation. 5° Tourner et rectifier la pince en même temps que la barre.

C	8	10	11	12	14	16	19	20	25	32
Q	4	5,5	5,5	7,4	7,4	10	10	10	14	19
N	2	2,5	2,5	3	3	4	4	4	6	8
F	5	6	6	7	7	10	10	10	13	18
R	15	21	21	28	28	39	39	39	57	76
S	20	28,5	28,5	40	40	56	56	56	80	108
T	25	36	36	52	52	73	73	73	103	140
U	30	43,5	43,5	64	64	90	90	90	126	172
K	8	12	12	18	18	24	24	24	35	50
A	35	49,5	49,5	71	71	100	100	100	139	190

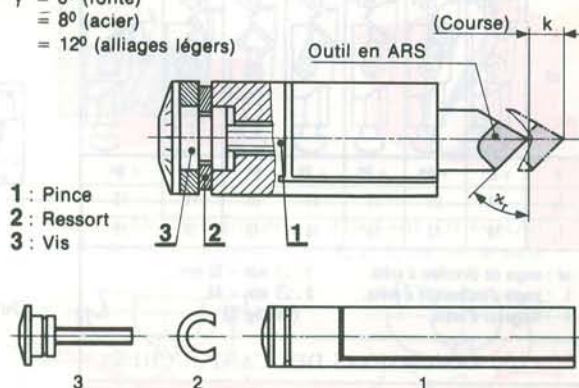
*Triabore distribué par Goldring. 92303 - Levallois Cedex.

MONTAGE DROIT ET OBLIQUE DE L'OUTIL-TRIABORE

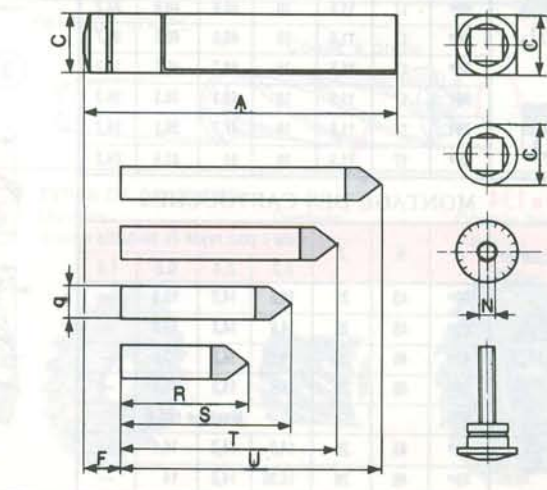


CARTOUCHE

- $\alpha_r = 53^\circ$ ou 90°
- $\alpha = 5^\circ$ à 10°
- $\gamma = 0^\circ$ (fonte)
- $= 8^\circ$ (acier)
- $= 12^\circ$ (alliages légers)



DIMENSIONS



46.13 Cartouches d'alésage NF E 66-345

46.131 Généralités

Les cartouches sont utilisées principalement avec des porte-outils à arêtes multiples (barres d'alésage, outillages spéciaux).

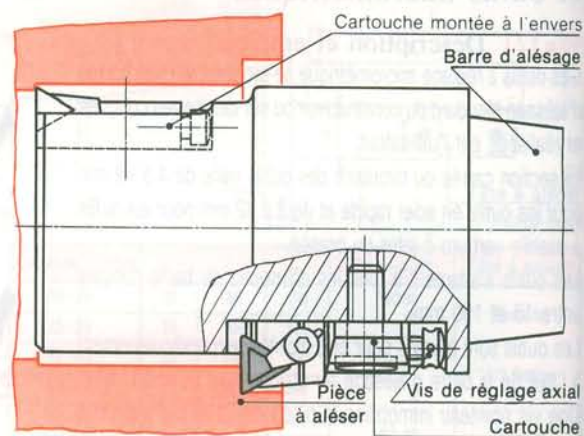
Ces porte-outils sont utilisés pour des productions de série dans lesquelles plusieurs opérations sont effectuées simultanément.

Les cartouches sont réglables axialement et radialement au moyen de vis de réglage, l'amplitude est égale à ± 1 mm.

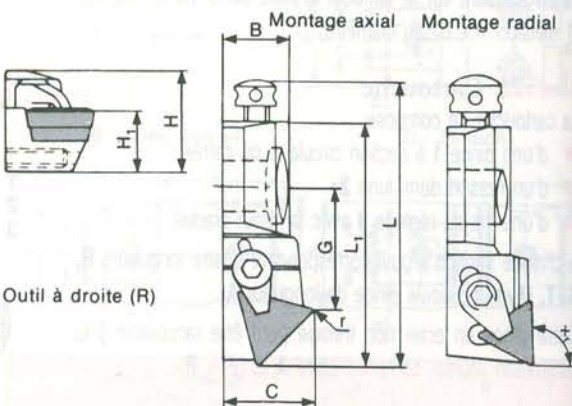
EXEMPLE :

Le montage de deux cartouches dans une barre d'alésage permet l'usinage simultané de deux surfaces (voir fig. 1). La disposition des cartouches permet de répartir l'effort de coupe.

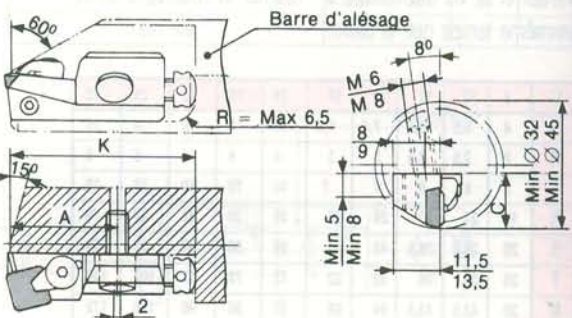
1 ALÉSAGE SIMULTANÉ DE DEUX SURFACES



2 DIMENSIONS DES CARTOUCHES



3 MONTAGE DES CARTOUCHES



46.132 CHOIX DES CARTOUCHES

αr	90°	75°	60°	45°	45°	30°	90°
λ	+ 6°	+ 6°	+ 3°	+ 3°	0°	+ 3°	+ 6°
l_1	11	09	11	11	09	11	11
l_2	16	12	16	16	12	16	16

αr : angle de direction d'arête. 1 : $\varnothing$ min = 32 mm.
 λ : angle d'inclinaison d'arête. 2 : $\varnothing$ min = 45.
 l : longueur d'arête. (Voir fig. 3.)

46.133 DIMENSIONS DES CARTOUCHES

Plaquette	αr	H	H ₁	B	L	L ₁	G
	90°	17	11,5	10	45,5	37,5	25,4
	60°	17	11,5	10	48,9	40,9	23,2
	45°	17	11,5	10	48,5	40,5	20,7
	30°	17	11,5	10	48,7	40,7	19,2
	90°	17	11,5	10	46,3	38,3	26,3
	75°	17	11,5	10	47,7	39,2	24,7
	45°	17	11,5	10	51	42,9	24,2

46.134 MONTAGE DES CARTOUCHES

Plaquette	αr	K	A	Cote c pour rayon de plaquette r			
				0,2	0,4	0,8	1,2
	90°	43	23	14,5	14,2	13,9	—
	60°	46	26	14,6	14,2	13,8	—
	45°	46	26	14,55	14,2	13,8	—
	30°	46	26	14,5	14,2	13,9	—
	90°	Montage radial					
	75°	45	25	14,3	14,2	14,1	—
	45°	46	26	14,35	14,2	14	—

* D'après Sandvik - 45100 Orléans.

47 Fraisage NF E 66-199

L'enlèvement de métal est réalisé par deux mouvements conjugués :

- un mouvement de coupe (M_c) de l'outil-fraise, entraîné par la broche de la machine,
- un mouvement d'avance (M_a) de la pièce fixée sur la table.

Suivant la position des arêtes de coupe, on distingue :

- le fraisage de profil ou en roulant,
- le fraisage de face ou en bout,
- le fraisage combiné en bout et en roulant.

Suivant le sens du vecteur vitesse de coupe ($\vec{v}_c$) par rapport au vecteur vitesse d'avance $\vec{v}_a$, le fraisage est :

- soit en opposition,
- soit en concordance ou en avalant.

47.1 Caractéristiques des fraises

47.1.1 Sens de coupe

Suivant le sens de coupe pour un observateur placé du côté de l'entraînement, les fraises sont :

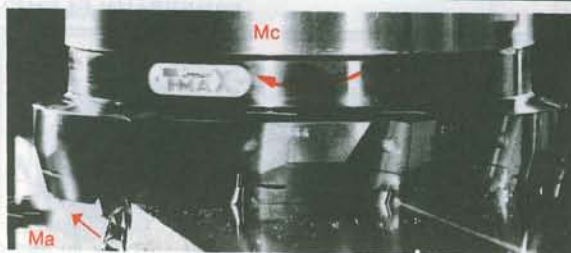
- soit à coupe à droite,
- soit à coupe à gauche.

47.1.2 Types de dentures

Suivant l'inclinaison des arêtes de coupe, on distingue :

- les dentures droites,
- les dentures hélicoïdales (hélice à gauche ou hélice à droite),
- les dentures à double hélice alternée.

La périodicité d'action des arêtes de coupe est très nette avec les dentures droites. Elle est pratiquement éliminée avec les dentures hélicoïdales.

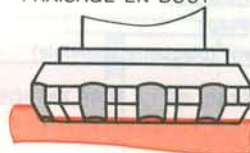


Cl. Sandvik SA

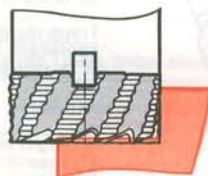
FRAISAGE EN ROULANT



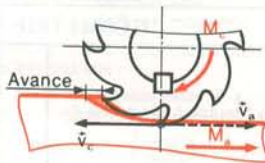
FRAISAGE EN BOUT



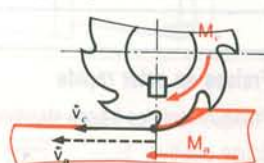
FRAISAGE COMBINÉ



FRAISAGE EN OPPOSITION
 $\vec{v}_a$ et $\vec{v}_c$ de sens contraire

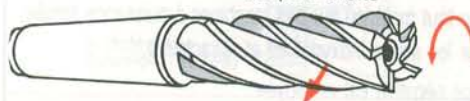


FRAISAGE EN AVALANT
 $\vec{v}_a$ et $\vec{v}_c$ de même sens



SENS DE COUPE

Coupe à droite



TYPES DE DENTURES

Denture droite

Denture hélicoïdale

Double hélice alternée



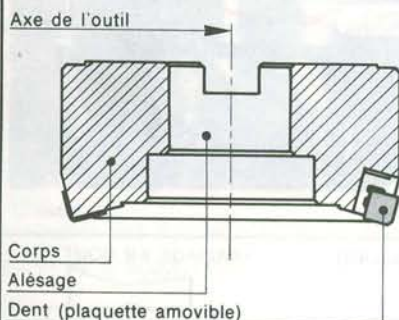
Fraise hélice à gauche, coupe à droite



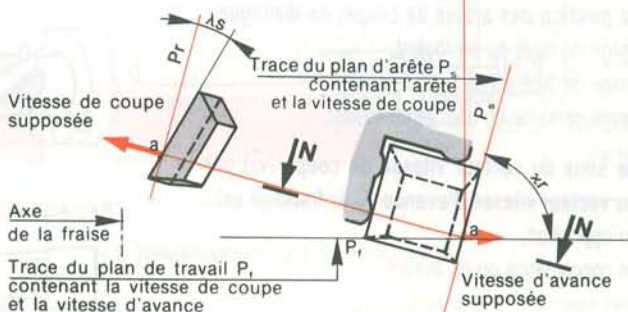
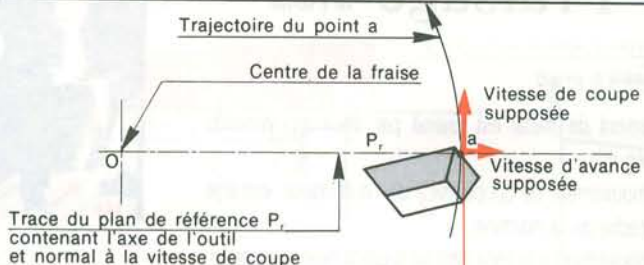
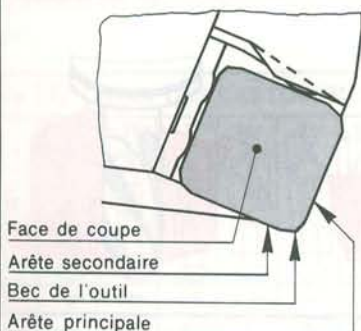
47.2

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS D'UNE FRAISE

Angles normalisés* NF E 66-502

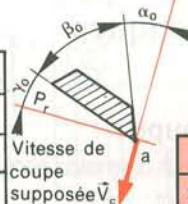


DÉTAIL DE LA MISE EN POSITION D'UNE PLAQUETTE



(angles contenus dans un plan perpendiculaire à P_r et P_s)

α_o	Angle de dépouille orthogonal
β_o	Angle de taillant orthogonal
γ_o	Angle de coupe orthogonal



λ_s	Angle d'inclinaison d'arête
κ_r	Angle de direction d'arête

GÉOMÉTRIE DE COUPE

Fraises en acier rapide

Pratiquement, les fraises standards sont toutes à géométrie de coupe positive.

Fraises en carbure

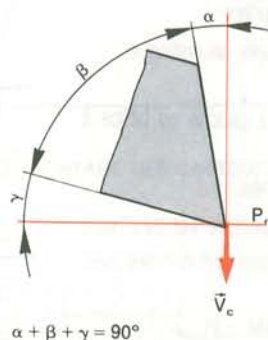
La coupe positive est utilisée essentiellement :

- pour tout matériau sur des machines à puissance limitée,
- pour les aciers inoxydables et réfractaires.

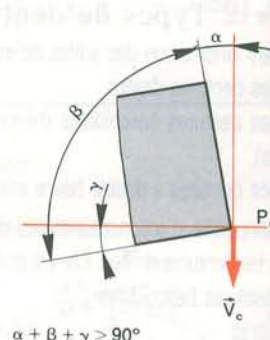
La coupe négative est employée :

- pour l'usinage de métaux très durs,
- pour l'usinage de la fonte,
- lorsque les dents sont exposées à des chocs.

Coupe positive



Coupe négative

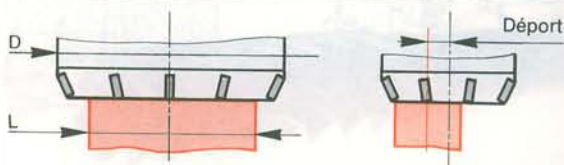


CHOIX DU DIAMÈTRE DE FRAISE

En surfacage, on prend : $D \approx 1,3 L$.

En travail d'ébauche, en général : $D \text{ max } \approx 250$.

Pièces de faible largeur : on déporte la fraise afin de permettre à plusieurs dents de travailler en même temps.



* Dans le système de l'outil en main.

47 ■ 3

FRAISES EN ACIER RAPIDE*

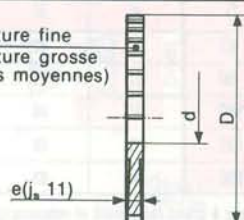
FRAISES-SCIES 1 TAILLE

NF E 66-233

D	d	e	Z ₁	Z ₂
50	13	0,5-0,6-0,8-1-1,2-1,6-2-2,5-3	80	—
63	16	0,5-0,6-0,8-1-1,2-1,6-2-2,5-3	80	—
80	27	0,5-0,6-0,8-1-1,2-1,6-2-2,5-3-4-5	100	32
100	27	0,5-0,6-0,8-1-1,2-1,6-2-2,5-3-4-5	124	40
125	27	1-1,2-1,6-2-2,5-3-4-5	124	40
160	32	1-1,2-1,6-2-2,5-3-4-5	160	50
200	32	1,2-1,6-2-2,5-3-4-5	—	50
250	32	2-2,5-3-4-5	—	62
315	40	2,5-3-4-5	—	62



Z₁ denture fine
Z₂ denture grosse
(valeurs moyennes)
1 taille



DÉSIGNATION :

Fraise-scie, denture : D - e.

NF E 66-233

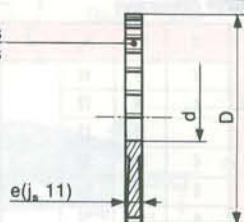
FRAISES-SCIES 3 TAILLES

à denture alternée

D	d	e	Z
80	27	1,6-2-2,5-3	32
100	32	1,6-2-2,5-3	40
125	32	1,6-2-2,5-3	48



Z dents
3 tailles



DÉSIGNATION :

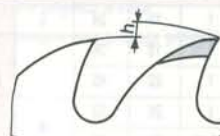
Fraise-scie 3 tailles, denture alternée : D - e.

FRAISES-SCIES DENTURE HELLER

D	d	e	Z ₁	Z ₂
200	32	2-2,5	160	80
220	32	2-2,5	160	100
250	32	2-2,5	160	100
275	40	2-2,5	200	100
300	40	2,5-3	220	100
315	40	2,5-3	220	100

Les fraises-scies 1 taille sont utilisées pour les travaux de précision. Les dentures alternées et les dentures Heller pour le tronçonnage à grand débit.

Détail denture Heller



Z₁ : denture fine
Z₂ : denture moyenne



DÉSIGNATION :

Fraise-scie à denture Heller : D - e.

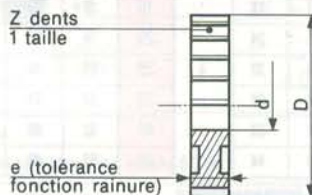
FRAISES 1 TAILLE À RAINURER

NF E 66-225

D	d	e	Z
63	22	5-6-8-10	18
80	27	6-8-10-12	24
100	32	6-8-10-12-14	24

Ces fraises présentent l'avantage, par rapport aux fraises 3 tailles, d'effectuer des rainures dont la largeur est pratiquement la même que la fraise.

Z dents
1 taille



DÉSIGNATION :

Fraise à rainurer : D - e.

NF E 66-225

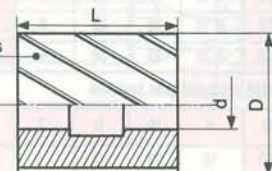
FRAISES 1 TAILLE À SURFACER

NF E 66-226

Hélice 30° à droite Coupe à droite				Hélice 45° à gauche Coupe à droite			
D	d	L	Z	D	d	L	Z
63	27	25-40-63	12	63	27	25-40-63	8
80	32	63-80-100	14	80	32	63-80-100	10
100	40	80-100-125	16	100	40	80-100-125	12



Z dents
1 taille



Fraises à grand rendement et robustes (grand logement de copeaux entre les dents et attaque par une portion de génératrice).

DÉSIGNATION :

Fraise 1 taille à surfacer : D - L, à droite,

NF E 66-226

pour surface.

FRAISES CLOCHES À SURFACER

NF E 66-237

D	d	H	h	Z ₁	Z ₂
63	22	40	20	8	5
80	27	45	22	10	7
100	27	50	22	12	8
125	32	56	25	14	10
160	40	63	28	16	12

Fraises à grand rendement et robustes (grand logement de copeaux entre les dents et attaque de la matière par un chanfrein).

DÉSIGNATION :

Fraise-cloche : D.

NF E 66-237

FRAISES CYLINDRIQUES 2 TAILLES

À queue cylindrique

NF E 66-211

D	d	h ₁	h ₂	Z	D	d	h ₁	h ₂	Z
2	4	7	10	3	8	8	19	38	4
2,5	4	8	12		10	10	22	45	
3	4	8	12		12	12	26	53	
4	4	11	19		(14)	12	26	53	
5	5	13	24		16	16	32	63	
6	6	13	24		20	20	38	75	

DÉSIGNATION :

Fraise 2 tailles, queue lisse D x d, A'.

NF E 66-211

À queue cône Morse

NF E 66-212

D	CM	h ₁	h ₂	Z	D	CM	h ₁	h ₂	Z
6	1	13	24	3	20	3	38	75	4
8	1	19	38	4	25	3	45	90	5
10	1	22	45		(28)	3	45	90	
12	1	26	53		32	3	53	106	
12	2	26	53		32	4	53	106	
16	2	32	63		40	4	63	125	6
20	2	38	75		50	4	75	150	8

DÉSIGNATION :

Fraise 2 tailles CM n° _____, D, A'.

NF E 66-212

À queue cylindrique filetée

D	d	h ₁	h ₂	Z	D	d	h ₁	h ₂	Z
2,5	6	7	—	4	12	12	26	51	4
3	6	11	18		16	16	30	64	
4	6	13	24		20	16	35	76	
5	6	16	30		25	25	44	99	5
6	6	18	30		32	32	51	102	6
8	10	22	33		40	32	60	102	6
10	10	24	44		45	32	63	102	8

DÉSIGNATION :

Fraise cylindrique 2 tailles, queue filetée D x d, série, _____

À trou taraudé et centrage arrière

NF E 66-213

D	d	d ₁	H	Z	D	d	d ₁	H	Z
25	M12	14	25	6	63	M24	26	40	8
32	M12	14	28	6	80	M30	32	45	10
40	M16	18	32	6	100	M30	32	50	12
50	M20	22	36	8	125	M36	38	56	12

DÉSIGNATION :

Fraise cylindrique 2 tailles, D.

Entrainement par tenons

NF E 66-214

D	d	H	h	Z	D	d	H	h	Z
40	16	32	18	6	100	32	50	25	12
50	22	36	20	8	125	40	56	28	12
63	27	40	22	8	160	50	63	31	14
80	27	45	22	10	—	—	—	—	—

Éviter l'emploi des valeurs entre parenthèses.

* La lettre A est utilisée seulement pour désigner la série longue ; on ne met rien pour la série courte ou normale.

FRAISES À RAINURER 2 DENTS

À queue cylindrique

NF E 66-217

D	d	h ₁	h ₂	D	d	h ₁	h ₂	D	d	h ₁	h ₂
2	4	4	7	6	6	8	13	12	12	16	26
2,5	4	5	8	(7)	8	10	16	(14)	12	16	26
3	4	5	8	8	8	11	19	16	16	19	32
(3,5)	4	6	10	(9)	10	11	19	(18)	16	19	32
4	4	7	11	10	10	13	22	20	20	22	38
5	5	8	13	(11)	12	13	22	—	—	—	—

À queue cône Morse

NF E 66-218

D	CM	h ₁	h ₂	D	CM	h ₁	h ₂	D	CM	h ₁	h ₂
6	1	8	13	(14)	2	16	26	32	3	32	53
(7)	1	10	16	16	2	19	32	32	4	32	53
8	1	11	19	(18)	2	19	32	(36)	3	32	53
(9)	1	11	19	20	2	22	38	(36)	4	32	53
10	1	13	22	20	3	22	38	40	4	38	63
(11)	1	13	22	(22)	2	22	38	45	4	38	63
12	1	16	26	(22)	3	22	38	50	4	45	75
12	2	16	26	25	3	26	45	56	4	45	75
(14)	1	16	26	(28)	3	26	45	—	—	—	—

À queue fileté

D	d	h ₁	h ₂	D	d	h ₁	h ₂	D	d	h ₁	h ₂
2	6	5	—	(9)	10	14	22	(22)	25	25	41
2,5	6	7	11	10	10	14	22	25	25	27	45
3	6	8	11	(11)	12	17	22	(28)	25	30	45
4	6	10	13	(12)	12	19	25	32	32	38	51
5	6	10	16	(14)	12	21	29	(36)	32	40	54
6	6	11	16	16	16	21	32	40	32	46	57
(7)	10	11	16	(18)	16	24	35	(45)	32	51	57
8	10	13	19	20	16	25	38	—	—	—	—

FRAISES POUR RAINURES À T

NF E 66-228

D	d	b	c	d ₁	a	D	d	b	c	d ₁	a
11	10	10	3,5	4	5	25	16	23	11	12	14
12,5	10	11	6	5	6	32	16	28	14	15	18
16	10	14	8	7	8	40	25	34	18	19	22
18	12	17	8	8	10	50	32	42	22	25	28
21	12	20	9	10	12	60	32	51	28	30	36

Elle est utilisée après l'exécution d'une rainure

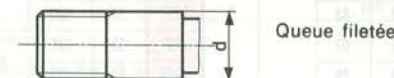
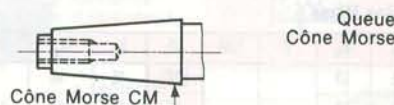
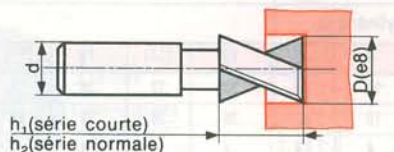
de largeur a, à la fraise 3 tailles ou à la fraise 2 tailles.

FRAISE pour logement de clavettes-disques

NF E 66-234

D	a	d	d ₁	Z	D	a	d	d ₁	Z	D	a	d	d ₁	Z
7	1,5		3		16			5		28	6		10	10
7	2	8	3		19	4		6		32	6		10	14
10	2,5		4	6	16			6		28	12,5	11	10	
10			4		19	5	12,5	7	10	32	8		11	
13	3	12,5	4,5		22			7		38			11	14
16			4,5	10	22			8		45		16	15	
13	4		5		25	6		9		45	10		15	18

2 tailles, coupe centrale



Ces fraises sont destinées à l'usinage des rainures quand

il est impossible de les exécuter avec une fraise 3 tailles.

La « coupe centrale » (une des dents a une longueur d'arête

de coupe L > D) autorise un travail en plongée sans perçage préalable.

DÉSIGNATIONS :

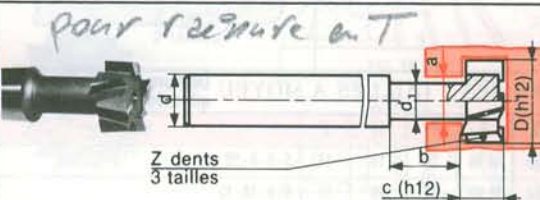
Fraise à rainurer, queue cylindrique, D × d, A*.

NF E 66-217

Fraise à rainurer, cône Morse n° _____, D.

NF E 66-218

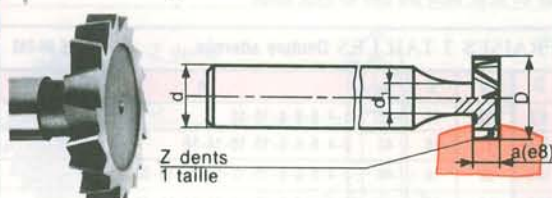
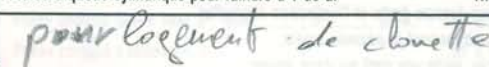
Fraise à rainurer 2 dents, queue fileté, D, série _____.



DÉSIGNATION :

Fraise à queue cylindrique pour rainure à T de a.

NF E 66-228



DÉSIGNATION :

Fraise pour logement de clavette disque D-a.

NF E 66-234

FRAISES D'ÉBAUCHE

Denture brise-copeaux

À queue cylindrique

D	8	10	12	(14)	16	(18)	20
d	10	10	12	12	16	16	16
h	19	22	26	26	32	32	38
Z	4	4	4	4	4	4	4

À queue cône Morse

D	h ₁	h ₂	Z	CM	D	h ₁	h ₂	Z	CM
12	26	53	4	2	(28)	45	90	5	3
(14)	26	53			32	53	106		
16	32	63			(36)	53	106		
(18)	32	63			40	63	125		
20	38	75			(45)	63	125		
(22)	38	75	5	3	50	75	125	7	4
25	45	90			—	—	—		

Entrainement par tenons

D	40	50	63	80	100	125
d	16	22	27	27	32	40
H	32	36	40	45	50	56
Z	6	7	8	10	12	14

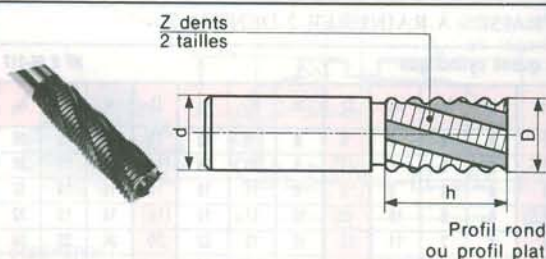
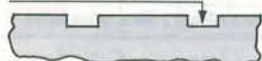
Ces fraises se caractérisent par un grand débit de copeaux. Elles sont à profil rond pour les travaux d'ébauche et à profil plat pour les travaux de semi-finition.

Profil rond



Profil plat

Rainures brise-copeaux

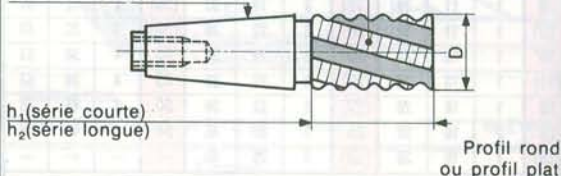


DÉSIGNATION :

Fraise 2 tailles, denture brise-copeaux, profil _____, queue cylindrique, D x d.

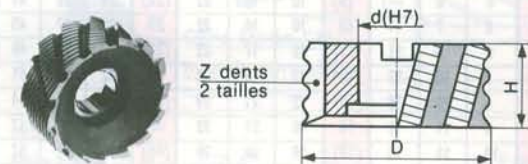
Z dents
2 tailles

Cône Morse CM



DÉSIGNATION :

Fraise 2 tailles, denture brise-copeaux, profil _____, queue cône Morse n° _____, D, série _____.



DÉSIGNATION :

Fraise cylindrique 2 tailles, denture brise-copeaux, profil _____, entrainement par tenons, D.

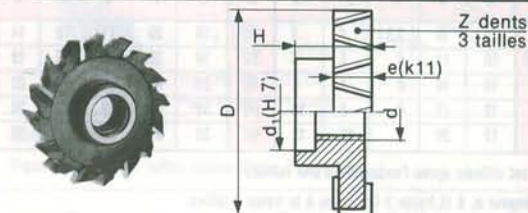
FRAISES 3 TAILLES À MOYEU

Denture alternée

NF E 66-247

D	d	d ₁	H	Z	e
63	M 16	18	16	16	5-6-8-10
80	M 20	22	20	16	6-8-10-12
100	M 24	26	24	18	8-10-12-14-16

L'obliquité des dents permet une coupe avec moins de chocs qu'une denture droite et l'inclinaison alternative supprime pratiquement la poussée axiale. Sur les faces, seule une dent sur deux, coupe.



DÉSIGNATION :

Fraise 3 tailles à moyeu : D - e.

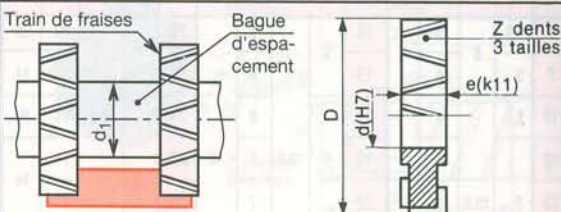
NF E 66-247

FRAISES 3 TAILLES Denture alternée

NF E 66-245

D	d	Z	d ₁	e
63	22	16	33	3-4-5-6-8-10-12
80	27	16	40	3-4-5-6-8-10-12-14-16
100	32	18	46	3-4-5-6-8-10-12-14-16-18-20
125	32	20	46	3-4-5-6-8-10-12-14-16-18-20
160	40	24	54	4-5-6-8-10-12-14-16-18-20
200	40	24	54	4-5-6-8-10-12-14-16-18-20

L'absence de moyeu fileté permet de monter plusieurs fraises.



DÉSIGNATION :

Fraise 3 tailles : D - e.

NF E 66-245

FRAISES EXTENSIBLES 3 tailles denture alternée NF E 66-224

D	d	e	z	D	d	e	z	D	d	e	z
80	27	10	18	100	27	20	16	125	32	22	16
		12	16			22	16			25	16
		14	16			25	16			16	24
		16	16			14	20			18	20
100	27	14	16	125	32	16	18	160	32	20	20
		16	16			18	18			22	20
		18	16			20	18			25	20

L'extensibilité de cette fraise est intéressante pour l'exécution de rainures à une cote précise.

Le réglage de l'épaisseur est obtenu en plaçant des rondelles intercalaires entre les 2 parties de la fraise.

FRAISES CONIQUES

À queue cylindrique - 1 ou 2 tailles NF E 66-231

D	d	H ₁	H ₂	z
16	12	4	6,3	12
20	12	5	8	14
25	16	6,3	10	14
32	16	8	12,5	16

À trou taraudé et centrage arrière NF E 66-227

D	40	50	63	80	100
d	M 12	M 12	M 16	M 20	M 24
d ₁	14	14	18	22	26
H	10	13	16	20	25
z	14	16	18	20	22

Entraînement par clavettes NF E 66-243

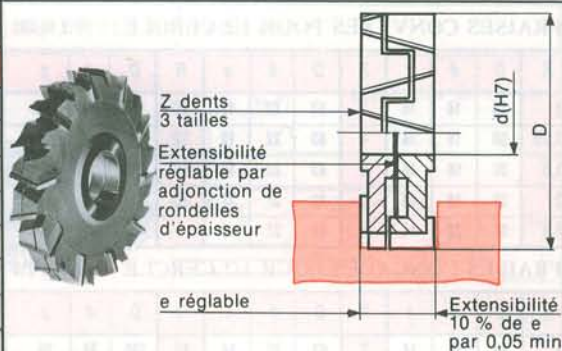
D	d	z	H	a	D	d	z	H	a
80	27	20	13	45°	80	27	20	16	65°
				50°					70°
				55°					75°
				60°					80°

Ces fraises sont utilisées notamment pour réaliser des queues d'aronde et tailler des roues à rochet. En principe, ces fraises sont employées après l'exécution d'une rainure rectangulaire d'ébauche.

FRAISES ISOCÈLES NF E 66-242

D	80	80	80	100	100
d	27	27	27	27	27
H	13	13	13	25	32
z	20	20	20	22	22
a	45°	60°	90°	60°	90°

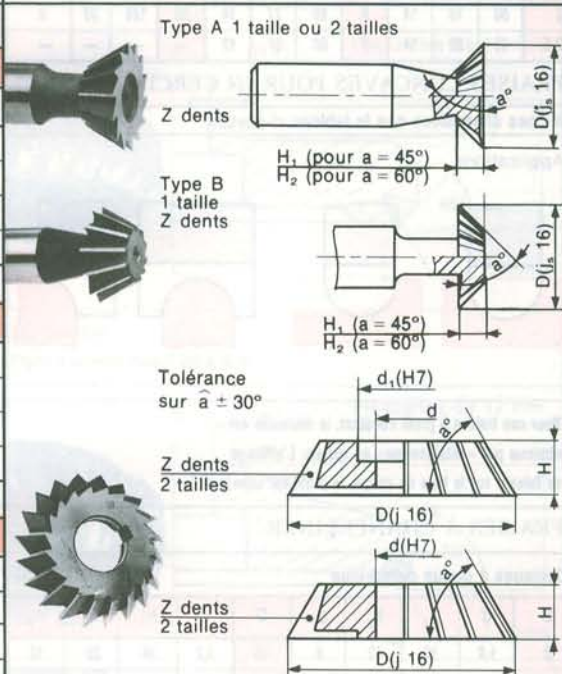
Ces fraises sont utilisées notamment pour l'exécution de rainures en v, les dégagements d'angles ou de portées.



DÉSIGNATION :

Fraise extensible 3 tailles - D - e.

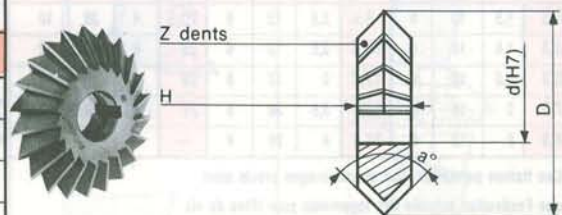
NF E 66-224



DÉSIGNATION :

Fraise conique queue lisse a°, type _____, D, _____ taille. NF E 66-231

Fraise conique 2 tailles a°, D. NF E 66-_____



DÉSIGNATION :

Fraise isocèle : a°, D.

NF 66-242

FRAISES CONVEXES POUR 1/2 CERCLE NF E 66-220

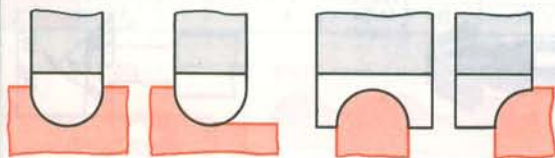
R	D	d	z	R	D	d	z	R	D	d	z
1	50	16	16	3	63	22	12	10	100	32	12
1,25	50	16	16	4	63	22	12	12	100	32	10
1,6	50	16	16	5	63	22	12	16	125	32	10
2	50	16	14	6	80	27	12	20	125	32	10
2,5	63	22	14	8	80	27	12	—	—	—	—

FRAISES CONCAVES POUR 1/2 CERCLE NF E 66-219

R	D	d	z	R	D	d	z	R	D	d	z
1	50	16	14	3	63	22	14	10	100	32	10
1,25	50	16	14	4	63	22	16	12	100	32	12
1,6	50	16	14	5	63	22	16	16	125	32	10
2	50	16	14	6	80	27	14	20	125	32	8
2,5	63	22	14	8	80	27	12	—	—	—	—

FRAISES CONCAVES POUR 1/4 CERCLE NF E 66-232

Mêmes dimensions que le tableau ci-dessus.

Applications


Pour ces fraises à profil constant, la dépouille est obtenue par « détalonnage » en spirale. L'affûtage se faisant sur la face de coupe, le profil est conservé.

FRAISES À CHANFREINER
Coniques à queue cylindrique NF E 66-250

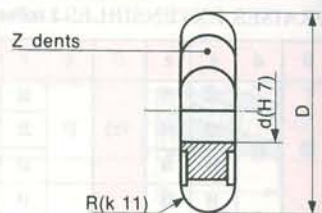
D	d	h ₁	h ₂	d ₁	D	d	h ₁	h ₂	d ₁
8	1,6	16	12	8	16	3,2	24	20	10
10	2	18	14	8	20	4	28	24	10
12,5	2,5	20	16	8	25	7	33	29	10

Coniques à noyer 3 dents*

D	d	h	d ₁	D	d	h	d ₁	D	d	h	d ₁
4,3	1,5	10	4	9,4	2,5	12	6	20,5	4	28	10
5,3	1,5	10	5	10,4	2,5	12	6	25	6	35	12
6,3	1,5	10	6	12,4	3	17	8	28	6	37	12
7,3	2	12	6	14,4	3,5	20	8	31	6	48	12
8,3	2	12	6	16,5	4	20	8	—	—	—	—

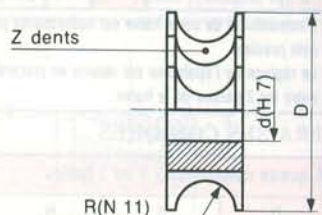
Ces fraises permettent des chanfreinages précis ainsi que l'exécution soignée des logements pour têtes de vis à têtes fraisées.

Les fraises à noyer 3 dents se distinguent par un grand rendement et une coupe particulièrement équilibrée.



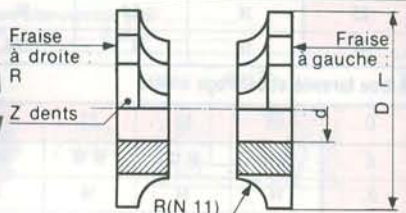
DÉSIGNATION :
Fraise convexe, R.

NF E 66-220



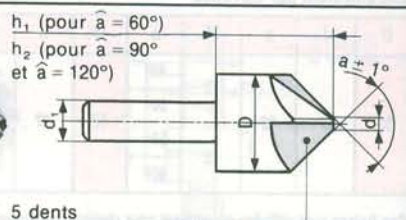
DÉSIGNATION :
Fraise concave, R.

NF E 66-219



DÉSIGNATION :
Fraise concave L (ou R), R.

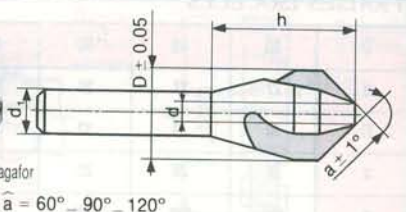
NF E 66-232



DÉSIGNATION :

Fraise à chanfreiner à queue cylindrique, D x a°.

NF E 66-250



DÉSIGNATION :

Fraise à noyer, 3 dents, D x a°.

47 ■ 4

FRAISES EN CARBURE À PLAQUETTES AMOVIBLES*

FRAISES À SURFACER

Fraise T-MAX 45-R 260.7 (pour aciers)

D	d	H	Z	D	d	H	Z
125	40	63	6	250	60	63	10
160	40	63	8	315	60	80	12
200	60	63	10	400	60	80	16

Profondeur de coupe maximale : 12.

Fraises à pas différentiels utilisées pour :

- l'ébauche et la demi-finition de l'acier et de l'acier coulé à des avances élevées,
- les travaux où l'usinage est délicat en raison des vibrations (porte-à-faux par exemple).

Fraises Auto-R 260.3 (pour fontes)

D	d	H	Z	D	d	H	Z
125	40	63	20	315	60	80	50
160	40	63	26	355	60	80	56
200	60	63	32	400	60	80	64
250	60	63	40	500	60	80	80

Profondeur de coupe maximale : 6 (1 pour la finition).

Fraises à pas réduit utilisées pour l'ébauche et la finition de la fonte à des avances élevées.

Fraise T-MAX R 265 (pour fontes et acier)

D	d	H	Z ₁	Z ₂	Z ₃	D	d	H	Z ₁	Z ₂	Z ₃
80	27	50	—	6	—	200	60	63	10	12	24
100	40	50	—	8	—	250	60	63	12	16	32
125	40	63	6	8	12	315	60	80	16	20	40
160	40	63	8	10	18	400	60	80	20	26	52

Profondeur de coupe maximale : 6.

Fraises à grands pas différentiels utilisées pour la demi-finition et la finition de la fonte et de l'acier.

Coupe négative pour la fonte.

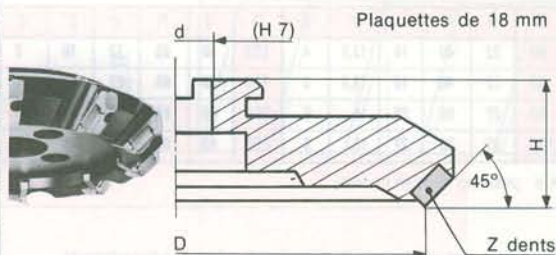
Coupe positive pour l'acier.

Fraise T-MAX R 265.2 AL (pour alliages d'aluminium)

D	d	H	Z ₁	Z ₂	D	d	H	Z ₁	Z ₂
80	27	50	4	—	200	60	63	10	12
100	32	50	4	—	250	60	63	12	16
125	40	63	6	8	315	60	80	16	20
160	40	63	8	10	400	60	80	20	26

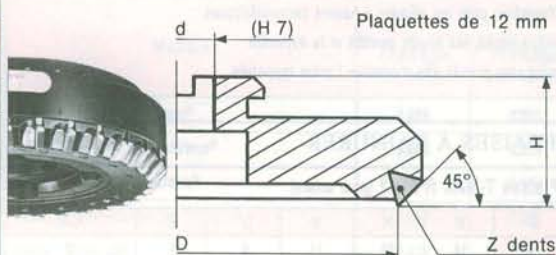
Profondeur de coupe maximale : 9.

Ces fraises conviennent à la plupart des alliages d'aluminium. Toutefois, pour les alliages à hautes caractéristiques mécaniques, les angles positifs et la dépouille sont plus grands pour éliminer l'arête rapportée.



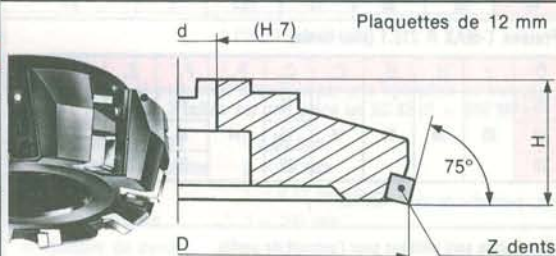
DÉSIGNATION :

Fraise à surfacer T MAX 45-R 260.7, D-d.



DÉSIGNATION :

Fraise à surfacer Auto-R 260.3, D-d.



DÉSIGNATION :

Fraise à surfacer T MAX-R 265, D-d, angles de coupe positifs (ou angles de coupe négatifs).

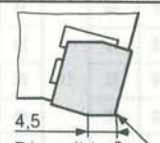
Plaquettes à surfacer

Réversible
4 arêtes de coupe

Détail A



Plaquettes à planer

Réversible 2
arêtes de coupe

FRAISES À SURFACER ET DRESSER

Fraises T-MAX R 262.2 (pour fontes et aciers)

D	d	H	c	p*	Z	D	d	H	c	p*	Z
50	22	40	16	13,3	4	125	40	63	22	18	7
63	22	40	16	13,3	5	160	40	63	22	18	9
80	27	50	22	18	6	200	60	63	22	18	11
100	32	50	22	18	8	250	60	63	22	18	15

* p : profondeur de coupe maximale.

Ces fraises sont utilisées pour la réalisation de rainures et d'épaulements.

Ces fraises conviennent pour l'usinage de la plupart des alliages d'aluminium.

Toutefois, pour les alliages à hautes caractéristiques mécaniques, les angles positifs et la dépouille sont plus grands afin d'éliminer l'arête rapportée.

FRAISES À RAINURER

Fraises T-MAX R 215.2 (pour aciers)

D	d	H	c	p*	Z	CM
16	16	30	11	9	1	2
20	20	35	11	9	2	3
25	25	35	11	9	2	3
32	32	35	16	13,3	2	3
40	32	30	16	13,3	3	3-4

Fraises T-MAX R 215.1 (pour fontes)

D	d	H ₁	H ₂	C ₁	C ₂	P ₁ *	P ₂ *	Z ₁	Z ₂	CM
25					16		14	2		
32	25	34	39	16	16	14	14	2	2	3
38					22		20	3		

* p : profondeur de coupe maximale.

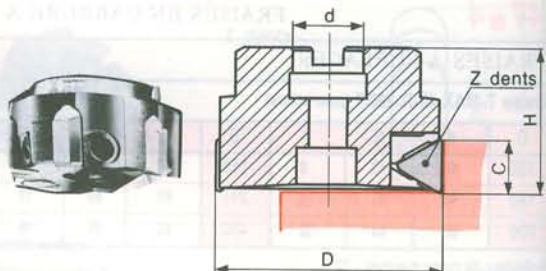
Ces fraises sont utilisées pour l'usinage de profils, d'épaulements et de rainures non débouchants.

FRAISES 3 TAILLES T-MAX R 331.2 Denture alternée

D	d	E	C	h*	Z	D	d	E	c	h	Z
80	27	10		15	6	160	40	18		45	10
100	32	12		24	8	160	40	20		45	10
125	40	12	11	30	10	200	50	22	16	60	12
160	40	12		45	12	250	50	24		60	16
160	40	16		45	12	315	50	24		60	20
125	40	20	16	30	8	—	—	—	—	—	—

* h : hauteur de passe maximale.

Ces fraises sont particulièrement adaptées à l'usinage des rainures. Il est possible d'en monter plusieurs sur un même arbre (train de fraises). Les meilleurs résultats sont obtenus si les fraises-disques sont utilisées en combinaison avec un volant d'inertie.



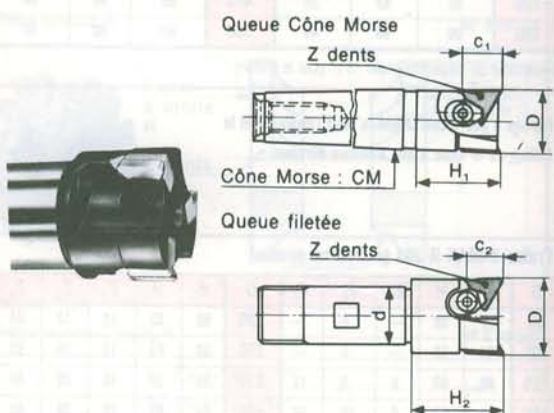
DÉSIGNATION :

Fraise à surfacer et dresser, T-MAX R 262.2 _____, D.

Fraises T-MAX R 262.2 AL (pour alliages d'aluminium)

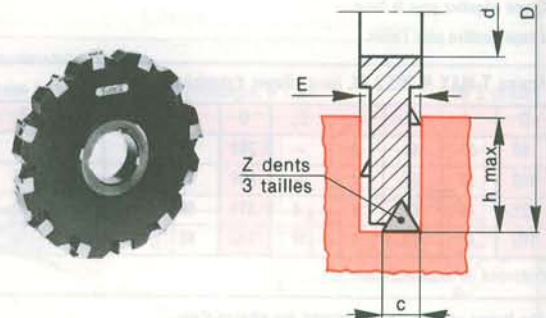
D	d	H	Z	C	D	d	H	Z	C
80	22	48,2	4		160	40	63	9	
100	32	48,2	4	22	200	60	63	11	22
125	40	63	7		250	60	63	15	

Profondeur de coupe maximale : 18.



DÉSIGNATION :

Fraise à rainurer, queue _____, T-MAX, R 215 _____, D.



DÉSIGNATION :

Fraise-disque, T-MAX, R 331.2, D-E.

47.5 Puissance absorbée

Puissance nécessaire à la coupe

La puissance nécessaire à la coupe est sensiblement proportionnelle au débit de matière enlevée :

$$P \approx K \cdot Q$$

P = puissance nécessaire à la coupe en watts (W).

Q = débit en mm³/min.

K = coefficient déterminé expérimentalement.

Suivant les données pour le calcul du débit, on a les expressions suivantes :

$$P \approx K \cdot l \cdot p \cdot f \cdot z \cdot n$$

$$P \approx \frac{K \cdot l \cdot p \cdot f \cdot z \cdot v \cdot 10^3}{\pi d}$$

$$P \approx K \cdot l \cdot p \cdot A$$

P = puissance nécessaire à la coupe en watts (W).

K : coefficient (voir tableau).

l : largeur de coupe en mm.

p : profondeur de passe en mm.

f : avance en millimètre par dent.

z : nombre de dents.

n : fréquence de rotation en tr/min.

v : vitesse de coupe en m/min.

d : diamètre de la fraise en mm.

A : avance en mm/min (A = f.z.n)

Puissance absorbée par la machine

$$P_a = \frac{P}{\eta}$$

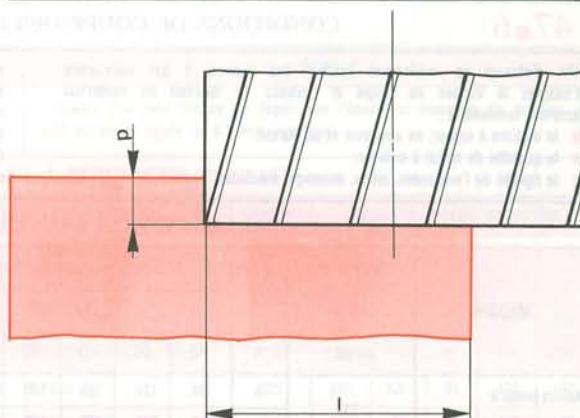
η^* : rendement de la machine (de 0,65 à 0,85 env.).

REMARQUES :

■ Lorsque la puissance calculée est supérieure à la puissance disponible, on peut réduire la vitesse de coupe et l'avance préconisées dans les tableaux précédents. Toutefois, afin de conserver une bonne formation du copeau, il vaut mieux abaisser la vitesse de coupe que l'avance. Pour les fraises à plaquettes amovibles, il peut être intéressant d'enlever une plaquette sur deux.

■ Un outil usé consomme environ 25 % de puissance en plus qu'un outil neuf.

*Prononcer « éta ».



Matière	K'	
	Fraisage en bout	Fraisage en roulant
Aciers R ≤ 60 daN/mm ²	0,050	0,055
Aciers 60 < R ≤ 110 daN/mm ²	0,060	0,070
Aciers R > 110 daN/mm ²	0,080	0,110
Aciers inoxydables	0,060	0,070
Fonte FGL 200	0,035	0,040
Fonte FGL 350	0,055	0,065
Laitons et alliages d'aluminium	0,017	0,020
Bronzes	0,035	0,040

APPLICATION

Soit à évaluer la puissance absorbée par une opération de fraisage à l'aide d'une fraise 2 tailles sur une pièce en XC32 (R ≈ 500 MPa).

- Largeur de coupe l = 80 mm.
- Profondeur de passe p = 5 mm
- Avance f = 0,12 mm/dent.
- Fraise 2 tailles ∅ d = 100 mm
- Nombre de dents z = 12.
- Vitesse de coupe v = 25 m/min

K = 0,05.

$\eta = 0,8$.

Puissance nécessaire à la coupe :

$$P \approx \frac{k \cdot l \cdot p \cdot f \cdot z \cdot v \cdot 10^3}{\pi d}$$

$$P \approx \frac{0,05 \times 80 \times 5 \times 0,12 \times 12 \times 25 \times 10^3}{\pi \times 100}$$

$$P \approx 2292 \text{ W}$$

Puissance absorbée par la machine :

$$P_a = \frac{P}{\eta}$$

$$P_a = \frac{2292}{0,8}$$

$$P_a \approx 2865 \text{ W}$$

1 MPa = 1 N/mm².

* Valeurs données à titre de première estimation.

47 ■ 6

CONDITIONS DE COUPE DES FRAISES EN ACIER RAPIDE

Afin d'obtenir un rendement optimal des fraises, il est nécessaire d'adapter la vitesse de coupe et l'avance en fonction de nombreux facteurs, notamment :

- la matière à usiner, sa structure et sa dureté,
- la quantité de métal à enlever,
- la rigidité de l'ensemble, pièce, montage, machines,

- la puissance et le type de machine,
- la précision et l'état de surface désiré,
- le type et le diamètre de la fraise utilisée,
- la lubrification.

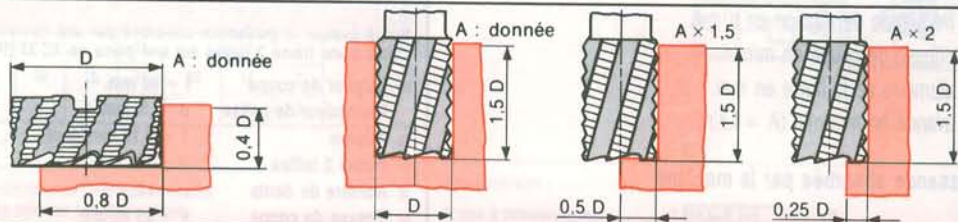
C'est pourquoi les valeurs suivantes ne sont données qu'à titre de première estimation.

FRAISES D'ÉBAUCHE Denture brise-copeaux*

Matière	Vitesse de coupe m/min	A**	Entraînement par tenons						Queue cylindrique ou conique							
			Diamètre						Diamètre							
			40	50	63	80	100	125	10	12	16	20	25	32	40	50
Aciers jusqu'à 600 MPa	32	A	80	110	125	140	160	180	50	56	63	71	80	90	100	112
		n	250	200	160	125	100	80	1000	850	630	500	400	315	250	200
Aciers jusqu'à 800 MPa	28	A	50	63	80	100	125	140	40	45	50	56	63	71	80	90
		n	224	180	140	112	90	71	900	750	560	450	355	280	224	180
Aciers jusqu'à 1000 MPa	25	A	40	50	63	80	100	125	32	36	40	45	50	56	63	71
		n	200	160	125	100	80	63	750	630	500	400	315	250	200	160
Aciers jusqu'à 1200 MPa	18	A	36	40	50	63	80	100	25	28	32	36	40	45	50	56
		n	140	112	90	71	56	45	560	500	355	280	224	180	140	112
Aciers jusqu'à 1400 MPa	12	A	31,5	36	40	50	63	80	20	22	25	28	32	36	40	45
		n	100	80	63	50	40	31,5	400	315	250	200	160	125	100	80
Fonte FGL 200	25	A	63	80	100	125	140	160	40	45	50	56	63	71	80	90
		n	200	160	125	100	80	63	750	630	500	400	315	250	200	160
Fonte FGL 250	16	A	40	50	63	80	100	125	32	36	40	45	50	56	63	71
		n	125	100	80	63	50	40	500	450	315	250	200	160	125	100

** A : avance en millimètres par minute — n : nombre de tours par minute.

Conditions de travail



Matière	Vitesse de coupe m/min	Avance en mm par dent						TYPES DE FRAISES	
		A	B	C	D	E	F		
Fonte FGL 200	20-35	0,25	0,20	0,25	0,10	0,25	0,10	A	1 taille à surfacer
Fonte FGL 300	10-20	0,15	0,12	0,15	0,06	0,15	0,07		
Fonte malléable	20-40	0,15	0,12	0,15	0,06	0,15	0,07	B	2 tailles à queue cylindrique ou conique
Aciers jusqu'à 600 MPa	20-40	0,15	0,12	0,12	0,08	0,20	0,07		
Aciers de 600 à 1000 MPa	15-30	0,12	0,10	0,10	0,05	0,13	0,05	C	2 tailles à trou taraudé ou lisse
Aciers de 1000 à 1200 MPa	12-20	0,10	0,07	0,07	0,04	0,10	0,05		
Aciers de 1200 à 1400 MPa	8-15	0,07	0,05	0,05	0,04	0,10	0,05	D	2 tailles à rainurer (2 dents et coniques)
Aciers inoxydables	8-15	0,10	0,07	0,07	0,06	0,15	0,05		
Laitons et bronzes tendres	30-70	0,20	0,20	0,20	0,08	0,20	0,10	E	3 tailles à denture alternée
Laitons et bronzes durs	15-30	0,15	0,12	0,15	0,06	0,15	0,07		
Alliages d'aluminium	60-300	0,35	0,30	0,35	0,08	0,15	0,15	F	À profil constant
Aluminium pur et all. légers tendres	300-600	0,35	0,30	0,35	0,10	0,20	0,15		

* D'après Kestag-Univacrier. 93500-Pantin.

*** D'après Astra. 93502-Pantin.

47 ■ 7

CONDITIONS DE COUPE DES FRAISES EN CARBURE

Profondeur de passe

Pour avoir la meilleure économie d'outil, choisir la plus grande profondeur de passe possible.

Avance

L'avance doit être choisie de façon que l'épaisseur moyenne du copeau soit au moins égale à 0,1 mm par dent.

FRAISES À SURFACER ET À SURFACER-DRESSER

Matière		Dureté*	Vitesse de coupe en m/min					Matière	Dureté*	Vitesse de coupe en m/min				
Aciers au carbone	c < 0,25 %	130	205	185	130	235	190	Ac. au manganèse	300	—	20	18	30	35
non alliés	c < 0,8 %	180	135	120	85	150	125	Aciers trempés	HRc 65	—	—	—	10	12
	c < 1,4 %	350	110	100	70	125	100	Fontes copeaux courts	145	195	125	80	150	160
Faiblement alliés	Recuit	225	135	120	85	150	125	Malléables copeaux longs	230	175	115	65	125	140
	Trempé	450	85	75	55	95	80	Fontes	220	230	120	95	130	160
Hautement alliés	Recuit	250	115	105	80	135	110	Fontes grises	330	170	90	70	100	120
	Trempé	500	75	65	50	90	70	Fontes ferritiques	230	150	90	65	110	120
Ac. rapide	Recuit	250	105	95	60	95	85	GS perlitique	300	135	85	60	100	110
Ac. outils	Trempé	350	80	70	40	70	60	Fontes trempées	60	—	—	—	18	20
Inoxydables recuits	Ferr. mart.	270	165	150	105	190	155	Avance en mm/dent		0,1	0,2			0,1
	Aust.	220	130	115	80	150	120	Nuance**		GC310	HM	H20	H1P	GC315
Aciers coulés	Non alliés	230	115	105	75	140	110	Alliages d'aluminium						
	Faib. all.	250	100	90	65	115	95	Vitesse de coupe en m/min		500				
	Haut. all.	200	70	65	45	80	65	Avance en mm/dent		0,1 min				
Inoxydables coulés	Ferr. mart.	250	65	60	40	75	60	Nuance**		H10				
	Aust.	250	50	45	30	55	50	Valeurs données à titre de première estimation.						
Avance en mm/dent			0,2											
Nuance**			SM	SM30	S6	S1P	GC135							

FRAISES À RAINURER

Matière	Dureté*	Vitesse de coupe en m/min				Matière	Dureté*	Vitesse de coupe en m/min			
Aciers non alliés	300	160	140	120	95	Aciers trempés	HRc 65	25	18	30	—
Faiblement alliés	400	140	125	105	85	Fontes malléables	230	120	90	145	—
Hautement alliés	500	130	120	100	80	Fontes grises	260	115	85	140	—
Inoxydables	220	120	110	90	70	Fontes GS	250	80	60	95	—
Coulés	200	110	100	80	65	Bronzes et laitons	150	160	120	190	—
Avance en mm/dent		0,15			Monobloc	Avance en mm/dent		0,15			
Nuance**		SM	SM 30	S 6	S 6	Nuance**		HM	H 20	H 1 P	—

FRAISES 3 TAILLES

Matière	Dureté*	Vitesse de coupe en m/min					Matière	Dureté*	Vitesse de coupe en m/min				
Aciers non alliés	300	140	120	90	130	—	Aciers trempés	HRc 60	—	—	—	10	12
Faiblement alliés	400	100	80	65	90	—	Fontes malléables	230	130	70	50	85	110
Hautement alliés	500	70	60	45	65	—	Fontes grises	260	150	75	55	90	125
Inoxydables	220	90	80	60	85	45	Fontes GS	250	100	55	35	65	80
Coulés	200	60	55	40	55	30	Alliages d'aluminium	100	—	400	290	—	—
—	—	—	—	—	—	—	Bronzes et laitons	150	—	135	95	160	—
Avance en mm/dent		0,3					Avance en mm/dent		0,1	0,3		0,1	
Nuance**		SM	SM 30	S 6	GC 135	R 4	Nuance**		GC 310	HM	H 20	H 1 P	GC 315

* Dureté Brinell maximale (HB max).

** Nuance Sandvik; correspondance avec une nuance ISO, voir § 44.10.

48 Filetage

48.1 Généralités*

Un filetage est une surface hélicoïdale obtenue par la combinaison d'un mouvement d'avance et d'un mouvement de rotation. Il est caractérisé par le diamètre nominal, la forme, le pas et le sens.

■ Diamètre nominal

C'est un diamètre théorique, non affecté de tolérance, utilisé pour la désignation.

Le diamètre usiné correspondant est affecté d'une tolérance.

■ Forme

Elle est donnée par l'outil (profil triangulaire ISO, trapézoïdal, rond, en dents de scie, gaz, carré, etc.).

■ Pas

Il est défini comme étant la distance comprise entre deux sommets consécutifs. Pour la fabrication, cela correspond à l'avance de l'outil pour un tour de broche.

■ Pas multiple

Un écrou ou une vis est dit à pas multiple s'il comporte plusieurs filets; le nombre de filets correspond au nombre d'entrées à l'extrémité de l'écrou ou de la vis. (Les vis à plusieurs filets sont réalisées dans le but d'obtenir un pas important tout en conservant une section suffisante.)

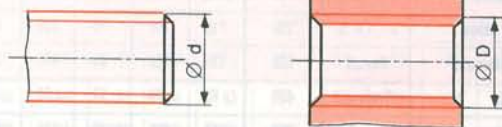
■ Sens

Le filetage est dit : « à droite » si le sens d'enroulement de l'hélice est à droite; il est dit à « gauche » si le sens d'enroulement de l'hélice est à gauche.



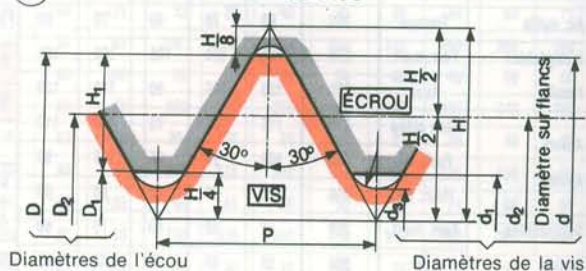
Cl. Sandvik SA

1 DIAMÈTRE NOMINAL



$D = d$ La vis et l'écrou ont le même diamètre nominal.

2 FORME - PROFIL MÉTRIQUE ISO



$d = D =$ diamètre nominal

$P =$ pas

$d_1 = D_1 = d - 1,0825P$

$H = 0,866P$

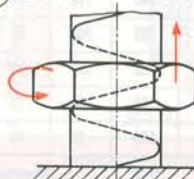
$d_2 = D_2 = d - 0,6495P$

$H_1 = 0,5412P$

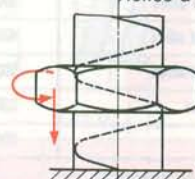
$d_3 = d - 1,2268P$

$r = 0,1443P$

3 SENS Hélice à droite

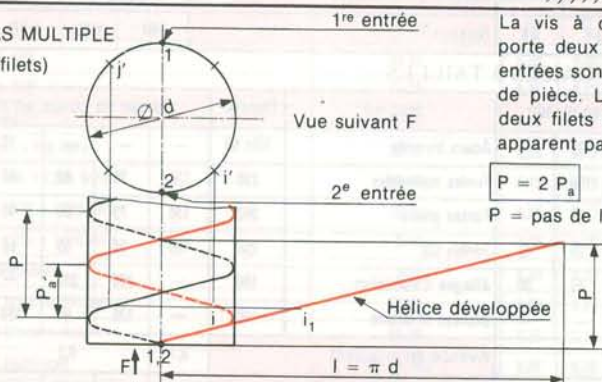


Hélice à gauche



4 PAS MULTIPLE

(vis à 2 filets)



La vis à deux filets comporte deux hélices dont les entrées sont visibles en bout de pièce. La distance entre deux filets est égale au pas apparent pa.

$P = 2 P_a$
 $P =$ pas de l'hélice



Soit i un point appartenant à la 1^{re} hélice; soit j un point appartenant à la 2^e hélice

* Voir également G. D. 30.

48.2 Outils de filetage

48.21 Outils à pénétration normale

Outil normalisé (fig. 1) :

La pénétration de l'outil est normale à l'axe de la pièce. L'outil coupe à l'aide des deux arêtes tranchantes; il en résulte un copeau qui se forme avec difficulté.

L'angle de coupe est limité à 6° car un angle plus grand modifie la forme du filetage obtenu; cet angle est trop faible pour l'usinage des aciers doux et des alliages légers.

Outil à fileter au-dessus du centre (fig. 2) :

La conception de ces outils permet d'obtenir des angles de coupe importants $\gamma_p = 20$ à 30° tout en conservant une face de coupe horizontale.

■ **Calcul de la hauteur de réglage H pour obtenir un angle de coupe déterminé γ_p**

$$H = d/2 \cdot \sin \gamma_p; \quad d = D - 2 \quad ad = D - 2 \frac{P/2}{\tan(\epsilon_1/2)}$$

$$d = D - \frac{P}{\tan(\epsilon_1/2)} \quad (\text{troncature négligée}).$$

EXEMPLE : $D = 40$; $P = 3$; $\epsilon_1 = 60^\circ$; $\gamma_p = 30^\circ$

$$d = 40 - \frac{3}{\tan 30^\circ} = 34,8 \text{ mm.}$$

$$H = \frac{34,8}{2} \cdot \sin 30^\circ = 8,7 \text{ mm.}$$

■ **Calcul de l'angle de taillant β_p**

$$\beta_p = 90^\circ - \gamma_p - \alpha_p; \quad \alpha_p = 6^\circ; \quad \gamma_p = 30^\circ$$

$$\beta_p = 90^\circ - 30^\circ - 6^\circ = 54^\circ.$$

■ **Calcul de l'angle de pointe ϵ_r (H connu)**

$$\tan(\epsilon_r/2) = \frac{P/2}{ab}; \quad ab = bc - ca$$

$$bc = \sqrt{(D/2)^2 - H^2}; \quad ca = d/2 \cdot \cos \gamma_p$$

EXEMPLE : $D = 40$; $p = 3$; $\gamma_p = 30^\circ$; $d = 34,8$; $H = 8,7$

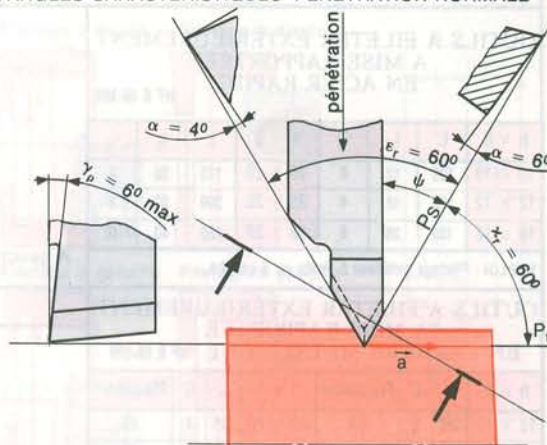
$$\left. \begin{aligned} bc &= \sqrt{20^2 - 8,7^2} = 18 \\ ca &= 34,8/2 \cdot \cos 30^\circ = 15,06 \end{aligned} \right\} ab = 18 - 15,06 = 2,94$$

$$\tan(\epsilon_r/2) = \frac{1,5}{2,94} = 0,51 \Rightarrow \epsilon_r = 54^\circ.$$

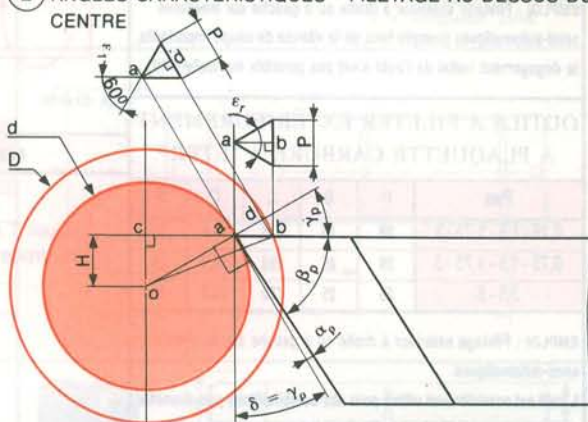
48.22 Outil à pénétration oblique

La pénétration s'effectue parallèlement au flanc du file.

1 ANGLES CARACTÉRISTIQUES - PÉNÉTRATION NORMALE



2 ANGLES CARACTÉRISTIQUES - FILETAGE AU-DESSUS DU CENTRE



ϵ_1 = angle à obtenir (ISO = 60°)

ϵ_r = angle de pointe

γ_p = angle de coupe

α_p = angle de dépouille

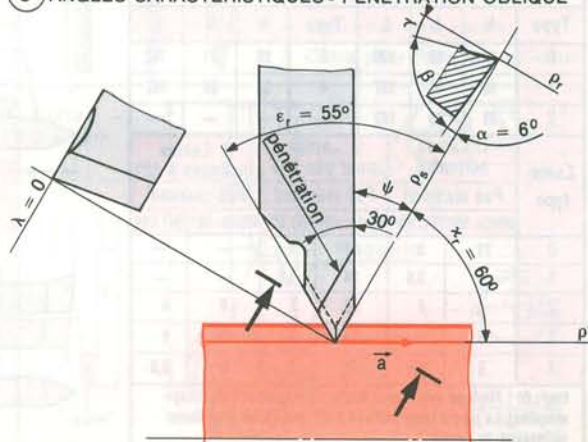
β_p = angle de taillant

p = pas

D = $\varnothing$ extérieur

d = $\varnothing$ à fond de file

3 ANGLES CARACTÉRISTIQUES - PÉNÉTRATION OBLIQUE



48 ■ 3

OUTILS A FILETER EXTÉRIEUREMENT

OUTILS A FILETER EXTÉRIEUREMENT
A MISE RAPPORTÉE
EN ACIER RAPIDE

NF E 66-369

h × b	L	l ₂	l ₃	h × b	L	l ₂	l ₃
10 × 10	100	12	4	20 × 20	175	25	6
12 × 12	125	16	4	25 × 25	200	32	8
16 × 16	150	20	5	32 × 32	250	40	10

EMPLOI : Filetage extérieur à droite ou à gauche.

OUTILS A FILETER EXTÉRIEUREMENT
A MISE RAPPORTÉE
EN CARBURE MÉTALLIQUE

NF E 66-339

h × b	L	C	Plaquette	h × b	L	C	Plaquette
12 × 12	100	2	F4	20 × 20	125	3	F6
16 × 16	110	2,5	F5	25 × 25	140	3,5	F7

EMPLOI : Filetage extérieur à droite ou à gauche sur machines semi-automatiques (compte tenu de la vitesse de coupe importante, le dégagement radial de l'outil n'est pas possible manuellement).

OUTILS A FILETER EXTÉRIEUREMENT
A PLAQUETTE CARBURE A JETER*

Pas	H	B	L	C	E
0,75 - 1,5 - 1,75 - 3	20	16	125	16,9	25
0,75 - 1,5 - 1,75 - 3	25	25	150	25,9	25
3,5 - 5	25	25	150	25,8	32

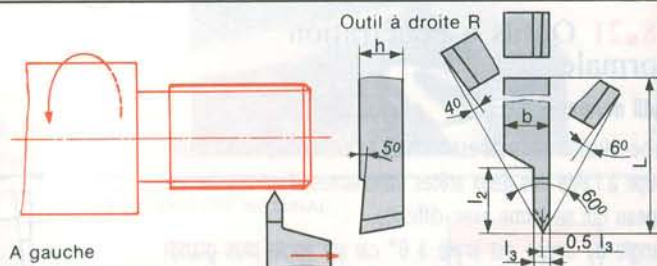
EMPLOI : Filetage extérieur à droite ou à gauche sur machines semi-automatiques.

L'outil est normalement utilisé pour des combinaisons pas-diamètre donnant un angle d'hélice de 1°. Pour les autres combinaisons, mettre une cale pentée sous l'outil.

PORTE-OUTILS ET LAMES A PROFIL
CONSTANT (A.R. OU CARBURE)

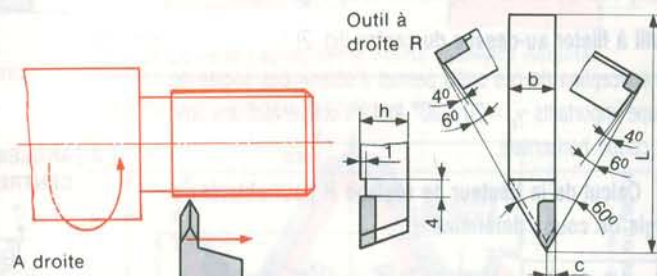
Type	h	b	L	Type	h	b	L
0	12	10	100	3	25	21	162
1	16	14	127	4	33	26	182
2	23	20	142	—	—	—	—
Lame type	1. Lames normales		2. Lames pour pas fins		3. Lames inclinées à 30°		
	Pas maximal		Pas maximal		Pas maximal		
	Whith. 55° ISO 60°		Whith. 55° ISO 60°		Whith. 55° ISO 60°		
0	11	3	32	1	—	—	—
1	9	3,5	24	1,5	—	—	—
2	8	4	20	2	8	4	4
3	6	5	18	2,5	6	5	5
4	5	6,5	16	3	5	6,5	6,5

EMPLOI : Filetage extérieur à droite ou à gauche (réaffûtage simplifié). Le type à lame inclinée à 30° est utilisé pour fileter au-dessus du centre.



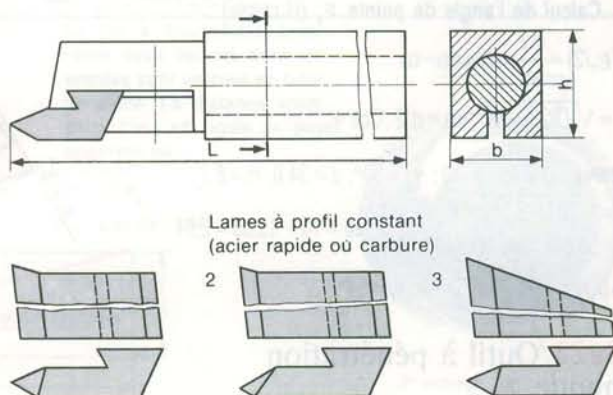
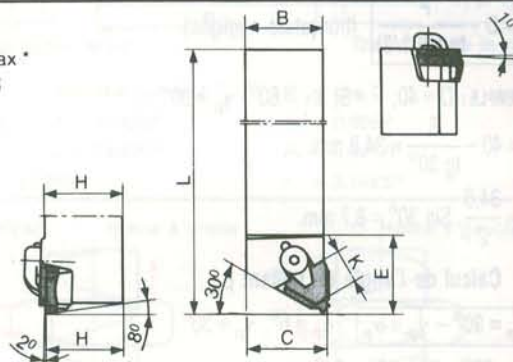
A gauche

DÉSIGNATION : Outil à fileter extérieurement R 16 q - 5°, NF E 66-369.



A droite

DÉSIGNATION : Outil à fileter extérieurement R 16 q - 0°, NF E 66-339.

Outil T max*
à droite RLames à profil constant
(acier rapide ou carbure)

* Sandvik. 45100 - Orléans.

** Rush. 67240 - Bischwiller.

48 ■ 4

OUTILS A FILETER INTÉRIEUREMENT

OUTILS A FILETER INTÉRIEUREMENT
MONOBLOCS A PROFIL CONSTANT*

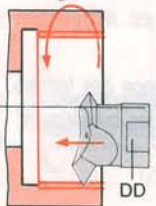
D	d	l	L	Pas max	D	d	l	L	Pas max
4	3	7	60	1	8	3	7	50	1
4	4,5	12	60	1	8	4,5	12	50	1
4	6	35	60	1,5	8	6	15	50	1
4	7,5	35	60	1,5	8	7,5	20	55	1,5
6	3	7	60	1	8	9	22	60	1,5
6	4,5	12	60	1	8	10,5	35	65	1,5
6	6	14	60	1,5	8	12	35	70	2
6	7,5	35	60	1,5	8	14	35	70	2,5
6	9	35	60	1,5	10	16	40	75	3
6	10,5	35	60	2	10	18	45	60	4

EMPLOI : Filetage intérieur de diamètres petits et moyens.

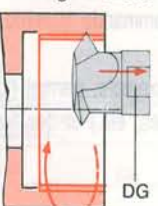
Filetage de précision sur pièces d'alésage.

(Outil monté sur tête à aléser universelle.)

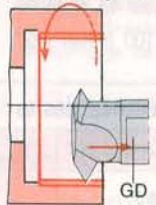
Filetage à droite



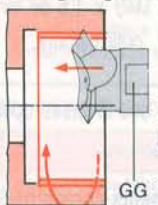
Filetage à droite



Filetage à gauche



Filetage à gauche



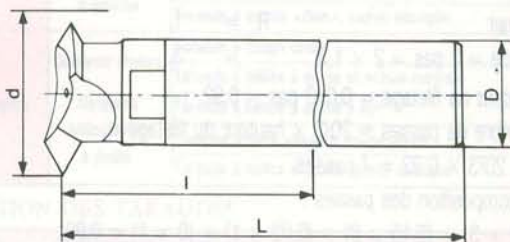
Acier rapide
ou carbure.
Existe en profil ISO
withworth
et trapézoïdal.

d = alésage minimum
l = longueur utile

OUTILS A FILETER INTÉRIEUREMENT
TÊTES A VISSER (PROFIL CONSTANT)*

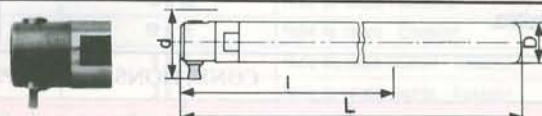
D	d	l	L	Pas max	D	d	l	L	Pas max
10	18	85	195	5	22	35	185	365	10
13	22	95	245	6	25	42	200	395	12
16	25	125	280	7	30	50	215	425	14
19	30	140	310	8	35	60	270	485	18

EMPLOI : Filetage intérieur de diamètres moyens et gros.

PORTE-OUTILS A FILETER
INTÉRIEUREMENT - FORMES CARRÉES
ET TRAPÉZOÏDALES - TÊTES A VISSER*

D	l	L	d	D	l	L	d
10	85	193	19	22	185	355	42
13	95	240	24	25	200	383	48
16	125	274	30	30	215	413	56
19	140	302	36	35	270	468	64

EMPLOI : Filetage intérieur de profils carrés ou trapézoïdaux.
Réalisation de gorges intérieures et de profils quelconques.



d = alésage minimum
l = longueur utile.

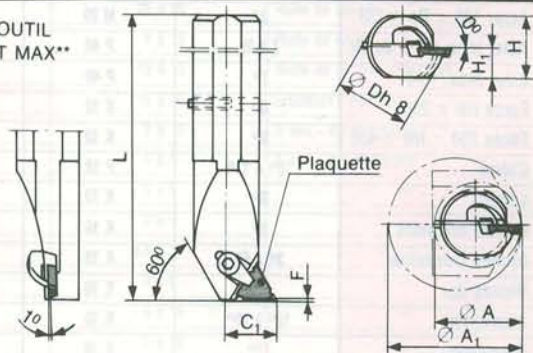


- 1 Ébauche d'outil
- 2 Outil pour filets carrés
- 3 Outils pour filets trapézoïdaux

PORTE-OUTILS A FILETER
INTÉRIEUREMENT A PASTILLE
A JETER EN CARBURE**

Pas	D	L	H	H ₁	C ₁	F	A	A ₁
0,75 à 1,5	16	200	14	7	11,5	0,34	20	35
	20	250	18	9	13,6	0,34	24	50
1,5 à 3	20	250	18	9	14,6	0,35	25	41
	25	300	23	11,5	17,2	0,35	30	48
3	32	355	30	15	20,8	0,35	37	60

EMPLOI : Filetage intérieur de profils triangulaires ISO sur tour
ou machine à fileter.
Pas réalisés : 0,75 à 3.

OUTIL
T MAX**

* Rush. 67240 - Bischwiller.

Pour l'outil à fileter intérieurement en acier rapide normalisé, voir § 44.7.

** Sandvik. 45100 - Orléans.
Cl. Rush

48.5 Filetage en commande numérique

Le filetage sur tour à commande numérique est relativement facile à mettre en œuvre.

Le tour HES 300*, par exemple, permet l'usinage des formes courantes (cylindres, cônes, etc.) et des filetages cylindriques, coniques ou frontaux.

EXEMPLE :

Soit à réaliser un filetage M40 × 1,5 de longueur 43. Matériau acier Rr = 90 daN/mm², outil carbure, v = 100 m/min (voir tableau).

Cette opération est l'une des diverses opérations réalisées au cours d'une même phase.

Détermination des éléments caractéristiques

Longueur du cycle : Z = - 46.

Pas : k = 1,5.

Retrait : R = 1.

Garde = 2 pas = 2 × 1,5 = 3.

Hauteur du filetage = 0,613 pas = 0,92.

Nombre de passes ≈ 20/3 × hauteur du filetage

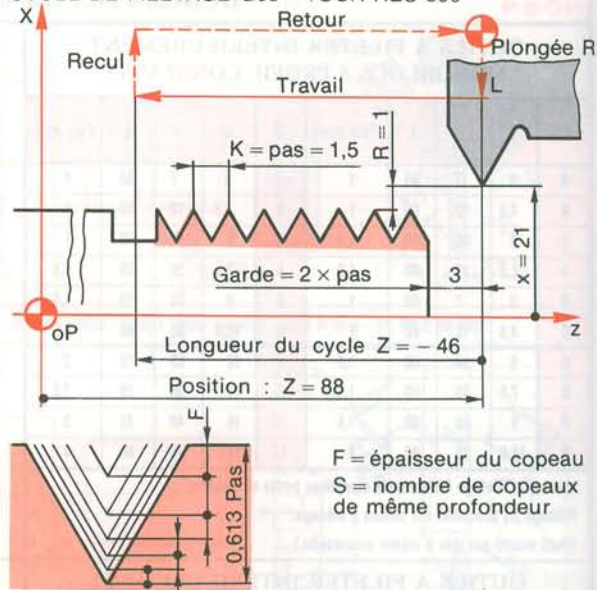
soit 20/3 × 0,92 = 7 passes.

Décomposition des passes :

$(0,2 \times 3) + (0,15 \times 2) + (0,02 \times 1) + (0 \times 1) = 0,92$

La passe à vide permet de compenser les défauts dus aux flexions.

CYCLE DE FILETAGE G33 - TOUR HES 300



PROGRAMMATION DU FILETAGE**		NUM 460
N 500 T 707 M6 (outil à fileter)		
N 510 S 800 M3		
N 520 X 21 000 Z 88 000		
N 530 G33 Z - 46 000 k 1500 R 1000 F - 200 S3		
N 540 F - 150 S2		
N 550 F - 20 S1		
N 560 F 0		
N 570 G0 G70 X0 Z0		
N 580 M 2		

CONDITIONS DE COUPE DES OUTILS CARBURE

Matériau (Rr en daN/mm ²)	Angle de coupe γ	Nuance de carbure	Vitesse de coupe m/min	Processus de pénétration	Lubrification
Acier 45 < Rr < 60	5° à 7°	P 10	180 à 250	Passes égales	—
Acier 60 < Rr < 75	5°	P 10	150 à 180	Passes égales	—
Acier 75 < Rr < 90	2° à 5°	P 10 - M 20	120 à 150	5 à 7 passes si Rr > 80	—
Acier 90 < Rr < 105	2°	M 20	90 à 110	5 à 7 passes	Huile de coupe
Acier 105 < Rr < 135	2°	M 20	90 à 70	5 à 7 passes	Huile de coupe
Acier inox. 13 % de Cr	7 à 9°	P 40	60 à 70	5 à 7 passes	Huile de coupe
Acier inox. 18-8	7°	P 40	50	5 à 7 passes	Huile de coupe
Fonte HB ≤ 250	0°	K 10	80 à 140	2 à 3 passes	—
Fonte 250 < HB < 400	0°	K 10	60 à 80	2 à 3 passes	—
Cuivre	10° à 12°	P 10	300 à 400	Passes égales	Huile de coupe
Laiton	0°	K 10	250 à 350	2 à 3 passes	—
Bronze ordinaire	0°	K 10	200 à 300	2 à 3 passes	—
Bronze aluminium	3° à 5°	K 10	110 à 150	2 à 3 passes	—
Bronze dur	5°	K 10	70 à 110	5 à 7 passes	Huile de coupe
Aluminium	12° à 15°	K 10	1000 à 1500	2 à 3 passes	—
Duralumin	12°	K 10	300 à 500	2 à 3 passes	—

* Voir § 61.16. ** Voir page 257, programmation avec NUM 720T.

48.6 Tarauds

48.61 Description et mode d'action

Les tarauds comportent trois parties principales : (1) entrée ; (2) guidage ; (3) queue. Les tarauds coupent avec les arêtes formées par l'intersection du cône d'entrée avec les goujures.

48.62 Défauts d'usinage

■ Aspect défectueux

Causes possibles : vitesse de coupe ; angle d'affûtage ; lubrifiant ; dureté du matériau ; variation de dureté d'une pièce à une autre.

■ Taraudage hors tolérance

Causes possibles : défaut d'alignement du taraud ; faux rond du taraud ; affûtage.

REMARQUE : Plus l'angle de coupe est grand, plus le diamètre de taraudage est petit et inversement.

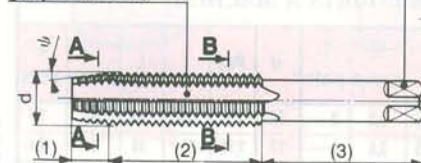
■ Pas inexact

Causes possibles : inexactitude du pas engendré par la machine (taraudage sur machine à vis-patronne ou à vis-mère) ; pression exagérée de l'appareil à tarauder provoquant un affaiblissement du filet.

DESCRIPTION - ANGLES CARACTÉRISTIQUES

Carré d'entraînement

goujure (droite)

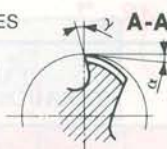


α = angle de dépouille

γ = angle de coupe

ψ = angle de direction complémentaire

h = détalonnage de la partie « guidage »



48.63 CHOIX DU TYPE DE TARAUDS*

Type de taraudages	Type de tarauds	Caractéristiques des tarauds
Débou-chants	Goujures droites	Tarauds à entrée hélicoïdale « Gun »
		Tarauds à hélice à gauche, entrée normale
	Goujures hélicoïdales à gauche	Tarauds à filets alternés, entrée hélicoïdale « Gun »
		Tarauds à hélice à gauche, queue allongée
Borgnes	Goujures droites	Tarauds à coupe droite
		Tarauds à hélice à droite et entrée normale
		Tarauds à hélice à droite à 45°
		Tarauds à filets alternés, coupe droite
	Goujures hélicoïdales à droite	Tarauds à hélice à droite, queue allongée

48.64

CONDITIONS D'UTILISATION DES TARAUDS*

Matière (Rr en MPa*)	Angle de coupe γ	Angle de dépouille α	Vitesse de coupe (m/min)	Lubrifiants
Aciers Rr < 500	15°	10°	15 à 18	Huile de coupe - Émulsion
Aciers 500 < Rr < 700	12°	10°	12 à 15	Huile de coupe - Émulsion
Aciers 700 < Rr < 900	10°	8°	6 à 10	Huile de coupe soufrée - Émulsion
Aciers Rr > 900	8°	6°	3 à 6	Huile de coupe soufrée - Émulsion
Aciers inoxydables	11°	8°	2 à 6	Huile de coupe soufrée - Émulsion
Fonte tendre	3°	4°	10 à 12	Pétrole - A sec - Air comprimé
Fonte alliée (dure)	4°	4°	3 à 6	Huile de coupe - A sec - Air comprimé
Fonte malléable	10°	6°	10 à 15	Huile de coupe - Air comprimé
Laiton	5 à 10°	10°	12 à 25	Huile de coupe soufrée - A sec
Bronze dur	4°	10°	6 à 10	Huile de coupe - Émulsion
Cuivre rouge	15° à 20°	10°	20 à 25	Huile de coupe
Cuivre électrolytique	9°	10°	8 à 12	Huile de coupe
Zinc	13°	10°	10 à 15	Huile de coupe - Émulsion
Aluminium	19°	9°	15 à 25	Émulsion - Pétrole
Matières plastiques tendres	13°	10°	8 à 10	A sec - Air comprimé
Matières plastiques dures (Bakélite)	3° à 6°	10°	3 à 5	A sec - Air comprimé
Alliages réfractaires 800 < Rr < 1000	—	—	5 à 8	—
Alliages réfractaires 1000 < Rr < 1400	—	—	2 à 4	—
Alliages réfractaires 1400 < Rr < 1800	—	—	0,5 à 1	—
Aciers alliés 1400 < Rr < 1600	—	—	3 à 6	—
Aciers inoxydables (18 - 8)	—	—	6 à 10	—
Titane	—	—	3 à 16	—

1 MPa = 1 N/mm².

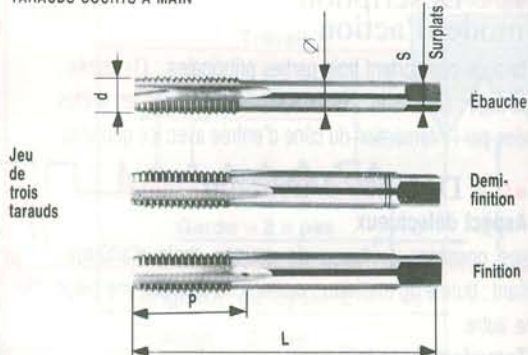
* D'après Astra. 93502 - Pantin.

48 ■ 7

TARAUDS A MAIN - TARAUDS COURTS A MACHINE*

TARAUDS A MAIN
TARAUDS COURTS A MACHINE NF E 66-103

TARAUDS COURTS A MAIN



Goujures droites

Goujures droites
Entrée « gun »Goujures droites
Filets alternés
Entrée « gun »

Goujures hélicoïdales



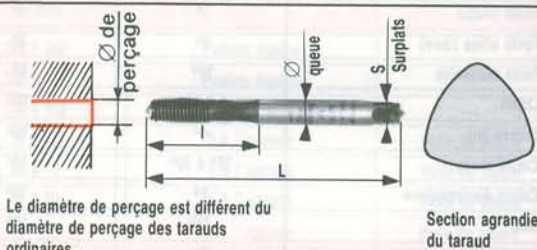
DÉSIGNATION :

- Jeu de 3 tarauds à main M 6 - pas 1, NF E 66-103.
- Taraud court à machine, goujure M 6 x 1, NF E 66-103.

EMPLOI : Taraudage sur machines.
Pour le choix du type de goujures et de l'entrée, voir § 43.73.

48 ■ 8

TARAUDS POLYGON**



d	Pas	l	L	Ø queue	S/plats	Ø perçage
8	1,25	26	66	8	6	7,30
10	1,5	30	72	7,6	6	9,20
12	1,75	33	80	9	7	11,20

Il est employé pour les métaux ductiles tels que le laiton, le cuivre, l'aluminium, le zamac, le zinc, le fer pur, les aciers doux et alliés recuits.

49 Rectification

La rectification est un procédé d'usinage par abrasion permettant d'obtenir des surfaces précises en dimension (IT 5 à IT 7), forme, position et état de surface ($0,025 < Ra < 3,2$).

Génération des surfaces cylindriques et coniques

Il y a une grande analogie avec le tournage (chapitre 44).

Les surfaces peuvent être obtenues :

- soit par un travail de forme ; la largeur de la meule est supérieure à la longueur à usiner et elle travaille en plongée (voir fig. 1a et 1b) ;

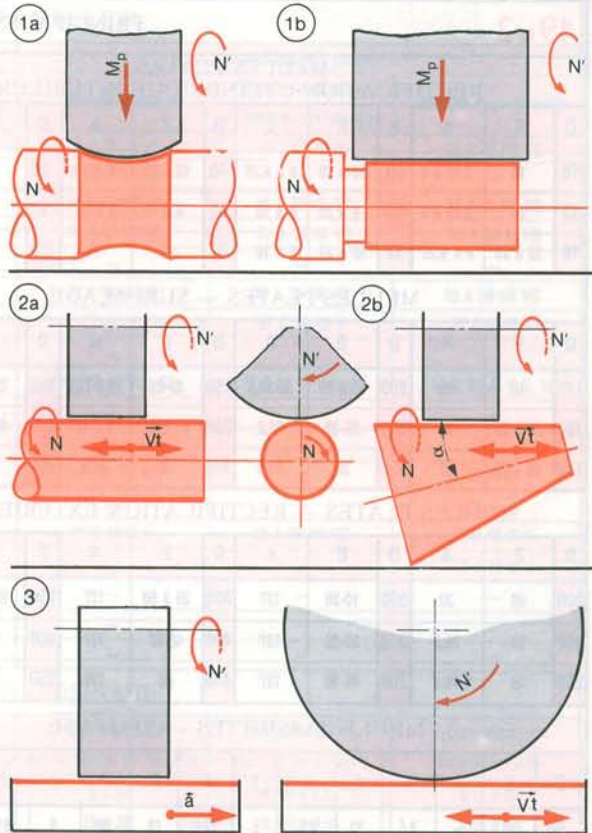
- soit par un travail d'enveloppe ; la largeur de la meule est inférieure à la longueur à usiner et elle travaille par chariotage (voir fig. 2a et 2b).

Génération des surfaces planes

Elles peuvent être obtenues :

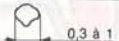
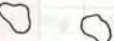
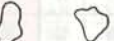
- soit à l'aide de meules plates travaillant sur leur périphérie (voir fig. 3). L'axe de la broche est parallèle à la surface à obtenir ;

- soit à l'aide de meules, boisseaux ou de meules cylindriques, voir § 49.2 (l'axe de la broche est perpendiculaire à la surface à obtenir).



49.1

DÉSIGNATION D'UNE MEULE

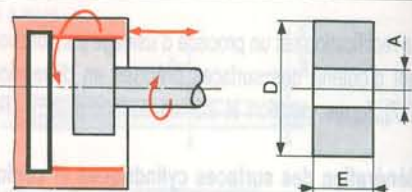
Désignation dimensionnelle				Désignation de la composition							
200 × 35 × 95				Abrasif (symb. constructeur) 38 A 36 J 8 V G Agglomérant (symb. constructeur)							
Diamètre extérieur				Type d'abrasif							
Épaisseur				Grossueur du grain							
Diamètre intérieur				Nature du grade						Type d'agglomérant	
										Structure	
Abrasif		Grain		Grade		Structure		Agglomérant			
Symbole constructeur	Symbole normalisé							Symbole normalisé	Symbole constructeur		
19	A (Abrasif alumineux)	8-10	Gros	A à G	Très tendre	0	Serrée	V	Vitrifié	VG VBE	
25		12-14				1					
32		16-20		H à K	Tendre	2					
38		24	3								
		30-36	Moyen	L à O	Moyen	5	Moyenne	S	Silicate	V	
		46-54				6					
37	C (Carbure de silicium)	60		Fin	P à S	Dur	7	Ouverte	R	Caoutchouc	F
		70 à 180					8				
		220 à 600		Très fin	T à Z	Très dur	9		E	Gomme laque	W
			Poudre				10			MG	Magnésie
						11					
						12					

49.2

PRINCIPALES MEULES

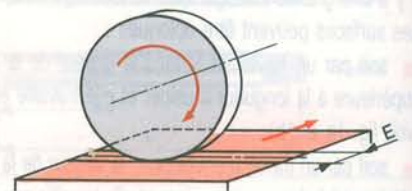
MEULES PLATES
RECTIFICATION CYLINDRIQUE INTÉRIEURE

D	E	A	D	E	A	D	E	A	D	E	A
10	10	3,18 à 4	20	10 à 20	6 à 6,35	40	10 à 32	6 à 13	63	10	13
13	13	3,18 à 4	25	6 à 25	6 à 10	50	6 à 40	6 à 20	63	13	13
16	10 à 20	6 à 6,35	32	10 à 32	6 à 10	50	40	13	150	16	32



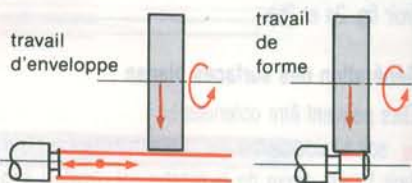
MEULES PLATES — SURFAÇAGE

D	E	A	D	E	A	D	E	A	D	E	A
125	10	20	200	13 à 25	32-50,8	250	20-25	50,8-76,2	350	25-32	127
150	10 à 20	32	200	25-32	76,2	300	25 à 40	76,2-127	350	40-50	127
180	10 à 20	32	230	20	50,8	300	50	76,2	400	50	127



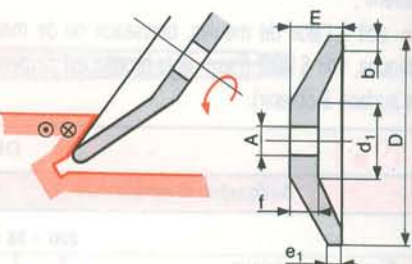
MEULES PLATES — RECTIFICATION EXTÉRIEURE

D	E	A	D	E	A	D	E	A	D	E	A
200	25	32	300	10-20	127	350	25 à 50	127	500	32-50	203,8
200	32	76,2	300	25-32	127	400	40-50	127	600	50	304,8
250	16	76,2	300	40-50	127	450	80	127	750	80	304,8



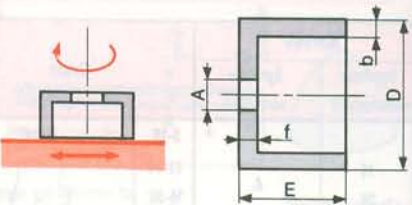
MEULES ASSIETTES - AFFÛTAGE

D	E	A	b	d ₁	e ₁	f	D	E	A	b	d ₁	e ₁	f
50	10	—	2,5	22	2,5	5	115	13	20	5	51	3,2	7
63	10	13	3,2	35	2,5	5	125	13	32-20	6	61	3,2	7
80	10	20	4	31	2,5	6	150	13	32-20	7	86	3,2	9
90	13	20-13	4	50	2,5	6	180	16	32	9	96	3,2	10
100	13	20-13	5	36	3,2	7	206	16	32	14	82	3	10



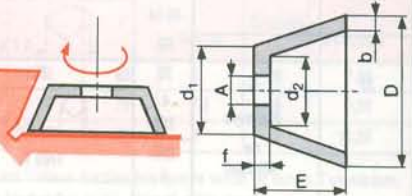
MEULES BOISSEAUX DROITS** - SURFAÇAGE

D	E	A	b	f	D	E	A	b	f	D	E	A	b	A
20	20	6	5	5	63	40	25	10	10	150	32	60	32	13
25	20	6	6	6	80	40	32	10	10	165	50	25	16	16
32	20	6	6	6	90	70	32	20	20	180	50	32	40	16
46	32	10	8	8	100	40	32	10	10	200	40	76,2	40	13
50	32	13	10	10	125	40	32	16	16	300	63	127	40	20



MEULES BOISSEAUX CONIQUES** - AFFÛTAGE

D	E	A	b	d ₁	d ₂	F	D	E	A	b	d ₁	d ₂	F
63	32	13	6	29	40	8	125	40	32	8	81	96	10
80	32	20	6	46	57	8	125	50	32	10	71	89	13
100	40	32	8	56	71	10	150	50	32	10	96	114	13
115	50	32	10	61	79	13	180	50	32	13	120	144	13



* D'après Norton. ** La meule boisseau travaille toujours en bout, jamais sur le côté.

49.3

CHOIX DES MEULES*

Matériau	Rectification cylindrique		Rectification plane		
	Extérieure	Intérieure	Meule plate	Meule boisseau et meule cylindrique	Meule à segments
Acier courant	A 46 N5 VG	32 A 60 M5 VG	38 A 36 J8 VG	38 A 30 I8 VG	38 A 30 H8 VG
Acier mi-dur	A 60 L5 VG	—	32 A 46 I8 VG	—	—
Acier trempé	38 A 60 L5 V	32 A 60 K8 VG	38 A 46 H8 VG	38 A 36 H8 VG	38 A 36 H8 VG
Acier rapide	38 A 60 L5 VG	32 A 60 K8 VG	38 A 46 H8 VG	38 A 36 H8 VG	38 A 36 I8 VG
Acier nitruré	39 C 60 J8 VK	39 C 60 H8 VK	—	—	—
Acier inox. 13 % Cr	38 A 60 L5 VG	—	32 A 46 I8 VG	32 A 30 H8 VG	32 A 30 H8 VG
Acier inox. 18-8	37 C 46 L5 V	—	—	37 C 30 H8 V	37 C 30 I8 V
Acier surcarburé	25 A 60 JVG	37 C 46 J5 V	—	—	—
Alliage d'aluminium	37 C 36 K5 V	37 C 46 I5 W tr. 12	37 C 30 J5 V tr. 12	37 C 24 I5 V tr. 12	37 C 24 J5 V tr. 12
Laiton	37 C 36 K5 V	—	—	—	—
Bronze	—	37 C 36 J5 V	—	—	—
Bronze dur	37 C 46 K5 V	—	38 A 46 K5 VG	—	37 C 24 J5 V
Matériau plastique	37 C 46 K5 V	—	—	—	—
Fonte	37 C 46 L5 V	37 C 36 J5 V	37 C 36 I5 V	32 A 30 H8 VG	37 C 30 I5 V
Fonte trempée	—	—	—	—	37 C 30 I5 V
Stellite	38 A 60 L5 VG	—	—	—	—
Chrome dur	38 A 60 I8 VG	32 A 60 I8 VG	—	—	—
Carbure métallique	39 C 80 I8 VK**	39 C 66 I8 VK**	—	—	—

49.4

CONDITIONS D'USINAGE

Opération	V _m -Vitesse de la meule en m/s	V _p -Vitesse de la pièce en m/min	p-Profondeur de passe en mm	s-Surépaisseur totale en mm
Rectification cylindrique extérieure	25 à 32	8 à 25*	0,005 à 0,1	0,1 à 0,5
Rectification cylindrique intérieure	10 à 30	10 à 20*	0,002 à 0,05	0,05 à 0,5
Rectification Centerless	25 à 32	1 à 5**	0,01 à 0,4	0,05 à 0,1
Surfaçage (meule plate)	20 à 25	5 à 25**	0,01 à 0,1	0,01 à 0,5
Surfaçage (meule cylindrique ou à segments)	15 à 22	5 à 20**	0,01 à 0,15	0,05 à 2
Rectification de filetage	30 à 45	0,3 à 1,5*	***	—
Affûtage (meule plate)	25 à 30	—	—	—
Affûtage (meule boisseau ou meule assiette)	20 à 25	—	—	—
Ébarbage à petite vitesse (meule vitrifiée)	32	—	—	—
Ébarbage à grande vitesse (meule résinoïde)	50	—	—	—
Tronçonnage sur machine spéciale	80	—	—	—
Tronçonnage sur machine courante	50 à 60	—	—	—

* Vitesse périphérique.

** Vitesse longitudinale.

*** Fonction du pas et du diamètre

49.5

RECTIFICATION CYLINDRIQUE — Vitesse de translation de la table

V_t = Vitesse de translation de la table en m/min
 k = facteur de translation (voir tableau)
 e = épaisseur de la meule en mm
 N = fréquence de rotation de la pièce en tr/min
 V = vitesse périphérique de la pièce en m/min
 D = diamètre du cylindre à rectifier en mm

$$V_t = \frac{k \cdot e \cdot N}{1000}$$

$$N = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$$

Facteur de translation k

Dégrossissage	0,8
Rectification usuelle	0,6
Rectification fine	0,3
Rectification très fine	0,1 à 0,2

Exemple d'application

Soit à rectifier un cylindre extérieur par une rectification fine.

Matériau : acier trempé.

Diamètre du cylindre D = 50 mm.

Épaisseur de la meule e = 25 mm.

Vitesse périphérique de la pièce V_p = 15 m/min.

Facteur de translation k = 0,3.

$$N = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 15}{\pi \cdot 50} = 95 \text{ tr/min.}$$

$$V_t = \frac{k \cdot e \cdot N}{1000} = \frac{0,3 \cdot 25 \cdot 95}{1000} = 0,7 \text{ m/min.}$$

* D'après Norton. ** Ou meule diamantée.

49.6 Rectification sans centre « Centerless »

Ce procédé est appliqué pour la rectification extérieure de petites pièces et des barres cylindriques, ainsi que pour la rectification intérieure de bagues cylindriques bien calibrées extérieurement.

49.6.1 Rectification extérieure

■ **Principe** : la pièce est mise en position à l'aide d'une réglette. Le maintien et la rotation sont assurés par une meule d'entraînement (voir fig. 1).

■ **Rectification à l'enfilade** : l'axe de la meule d'entraînement est incliné d'un angle $\alpha \approx 5^\circ$. La pièce ou la barre avance suivant son axe à la vitesse $V_a = V_e \cdot \sin \alpha$ (voir fig. 2a).

■ **Rectification en plongée** : l'axe de la meule d'entraînement est parallèle à l'axe de la meule de travail. Une butée positionne la pièce axialement.

49.6.2 Machine à rectifier sans centre type 2J*

Elle est destinée à la rectification extérieure à l'enfilade ou en plongée. La machine de base est à commande manuelle ; elle peut être équipée de dispositifs d'amenée de pièce et de contrôle automatique.

Diamètre de la pièce	1,5 à 125
Plongée standard sur machine manuelle	1,4
Plongée maximale sur machine à cycle	25
Hauteur d'axe de la broche de rectification	980
Meule de travail	500 × 200 × 305
Meule d'entraînement	305 × 200 × 120
Fréquence de rotation (meule de travail)	1140 tr/min
Fréquence de rotation (meule d'entraînement)	12 à 105 tr/min
Puissance du moteur de la meule de travail	15 kW
Puissance du moteur de la meule d'entraînement	1,5 kW

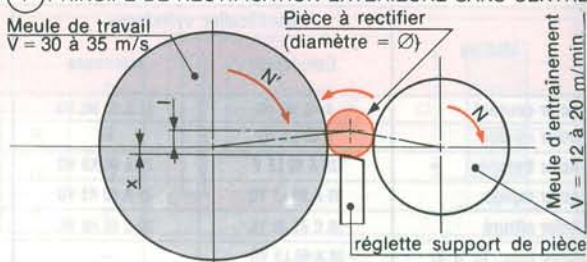
EXEMPLE :

L'axe suivant la figure 5 est rectifié extérieurement sur une Centerless type 2J équipée d'un dispositif d'amenée et de contrôle automatique. Les cinq diamètres sont rectifiés simultanément en plongée.

- Matière : acier.
- Surépaisseur d'usinage : 0,13 à 0,3 mm.
- État de surface : $Ra\ 0,6\ \mu m$.
- Tolérance : 0,012 mm.
- Nombre de passes : 1.
- Production : 4 pièces par minute.

* Vickman. 95523-Neuilly-sur-Seine.

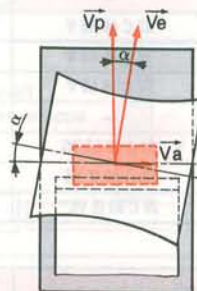
1 PRINCIPE DE RECTIFICATION EXTÉRIEURE SANS CENTRE



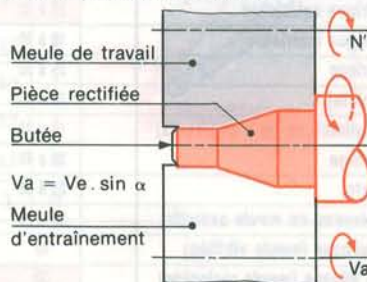
Pièces dont le diamètre est inférieur à 15 mm : $x = 0$

Pièces dont le diamètre est supérieur à 15 mm : $1/5\ \varnothing \leq x \leq 1/4\ \varnothing$

2a RECTIFICATION A L'ENFILADE



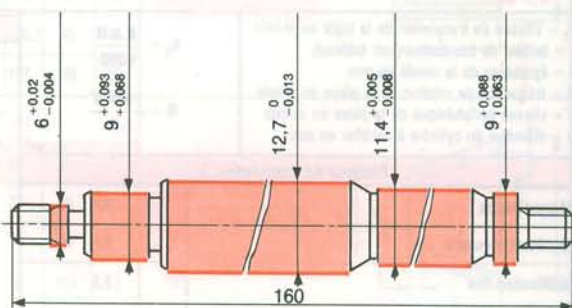
2b RECTIFICATION EN PLONGÉE



V_e = vitesse de la meule d'entraînement (m/min)

V_a = vitesse d'avance de la pièce (m/min)

4 AXE RECTIFIÉ SUR MACHINE SANS CENTRE TYPE 2J



50 Rodage Superfinition

Ces procédés permettent de parachever, par abrasion, la rugosité des surfaces jusqu'au « poli-miroir ». L'amélioration de l'état de surface est obtenue en utilisant des abrasifs de plus en plus fins.

50.1 Rodage

Tous les matériaux peuvent être rodés : aciers, carbures, fontes, matières plastiques, pièces trempées, pièces chromées, céramiques, etc.

POSSIBILITÉS

État de surface	$0,025 < Ra < 0,8$
Précision dimensionnelle max.	0,001 à 0,005
Circularité	0,001 à 0,01
Planéité	0,0005 à 0,04

PRINCIPAUX ABRASIFS

Carbure de silicium	Pratiquement universel
Corindon	Aciers, aciers chromés durs
Diamant	Ac. inox., ac. à outils, carbures, céramiques

GROSSEUR DES GRAINS

Ebauche	$Ra \leq 0,8$	60 - 80 - 120 - 180
Finition	$Ra < 0,4$	220 - 320 - 400
Superfinition	$Ra < 0,1$	500 - 600 - 1200

LUBRIFICATION

Lubrification abondante d'huile minérale et de pétrole mélangés ou employés seuls.

ÉBAUCHE

Surépaisseur	0,01 à 0,1
Circularité - Planéité	0,01 à 0,04

RODAGE D'ARBRES ET D'ALÉSAGES

CONDITIONS D'USINAGE

Matériau	Vitesse de rotation	Vitesse de translation
Aciers	35 m/min	15 m/min
Aciers à outils	45 m/min	8 m/min
Fontes grises	45 m/min	18 m/min
Carbures	40 m/min	12 m/min
Pression de rodage	1 à 5 bars	

Applications :

Pistons, chemises, maîtres-cylindres de freinage, cylindre de vérins, canons d'armes, etc.

RODAGE PLAN

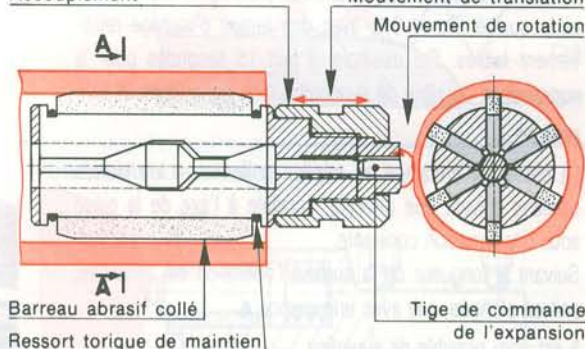
Fréquence de rotation du plateau	60 tr/min environ
----------------------------------	-------------------

Applications :

Toute face d'appui avec une fonction étanchéité.

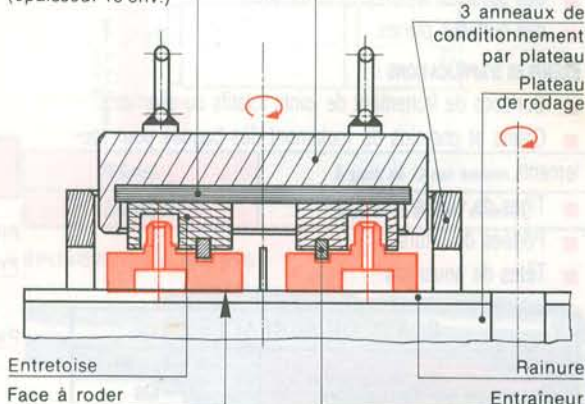
RODAGE D'ALÉSAGE

Accouplement

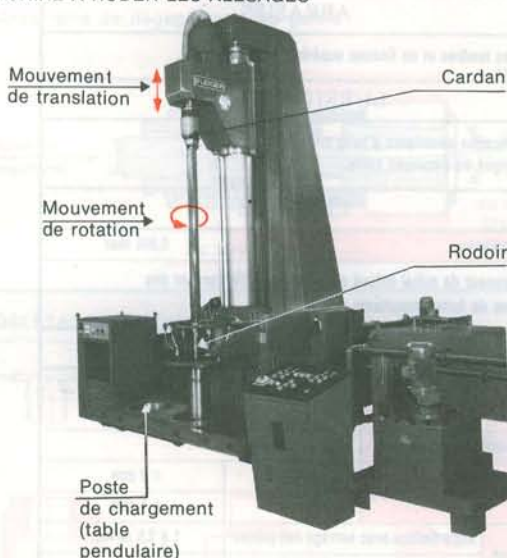


RODAGE PLAN

Disque de feutre (épaisseur 10 env.)



MACHINE À RODER LES ALÉSAGES



50.2 Superfinition

La superfinition permet d'obtenir des états de surface d'excellente qualité ($R_a \leq 0,1$) avec des temps d'usinage relativement faibles. Par exemple, il faut 15 secondes pour la superfinition du cône de synchronisation de la figure 2.

PRINCIPE :

La pièce est entraînée en rotation uniforme et les pierres oscillent suivant une direction parallèle à l'axe de la pièce sous une pression constante.

Suivant la longueur de la surface l'opération est exécutée, soit en plongée, soit avec une avance a .

Il est ainsi possible de superfiner :

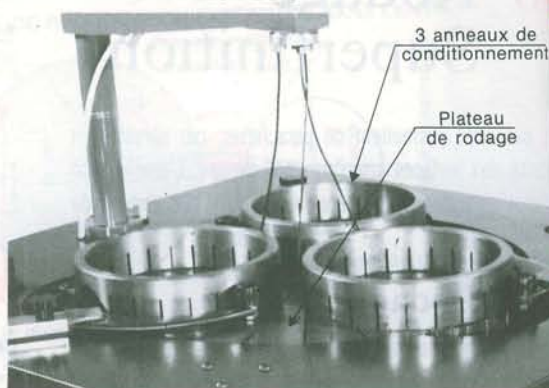
- des surfaces cylindriques de révolution,
- des surfaces coniques de révolution,
- des surfaces sphériques et toriques,
- des surfaces planes.

EXEMPLES D'APPLICATIONS :

- Surfaces de frottement de joints rotatifs ou alternatifs.
- Galets et chemins de roulement des bagues pour roulements.
- Tiges de vérins.
- Portées de rotors.
- Têtes de poussoirs.

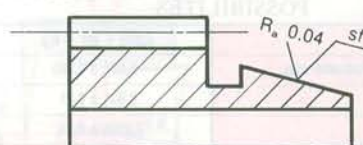
ÉTATS DE SURFACE		
Surface mate		$0,05 < R_a < 0,1$
Surface brillante avec traces croisées		$R_a = 0,05$
Surface brillante sans rayure (poli-miroir)		$R_a \leq 0,025$
ABRASIFS		
Pierres tendres et de finesse supérieure à l'indice 600.		
LUBRIFICATION		
Lubrification abondante d'huile minérale et de pétrole mélangés ou employés seuls.		
ÉBAUCHE		
Surépaisseur		0,006 max
L'épaisseur de métal enlevé ne permet pas de corriger des défauts de forme importants.		
CONDITIONS D'USINAGE		
Vitesse de rotation	Ébauche	20 m/min
	Finition	jusqu'à 70 m/min
Fréquence d'oscillation	2 500 battements/mn	
Amplitude des oscillations	Ébauche	± 2 mm
	Finition	± 1 mm
Avance	Superfinition avec serrage des pièces	1 à 2,5 m/min
	Superfinition Centerless	jusqu'à 7 m/min

MACHINE À RODER LES PLANS



Cl. St

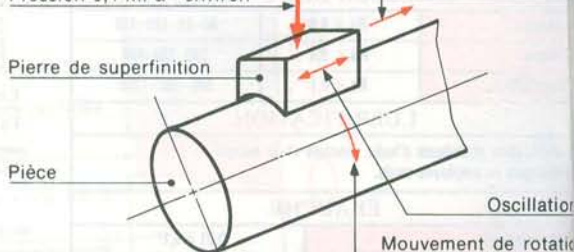
EXEMPLE DE SUPERFINITION



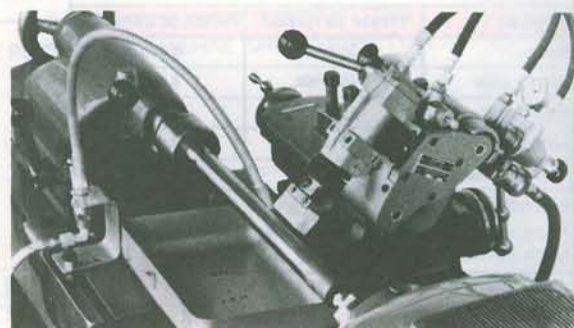
Ébauche	État de surface	Coaxialité	Surépaisseur
	$R_a : 0,06$	0,0025	0,003

PRINCIPE DE LA SUPERFINITION

Pression 0,4 MPa* environ



APPAREIL DE SUPERFINITION S'ADAPTANT SUR TOUR



Cl. Supf

* 1 MPa = 10 bars = 1 N/mm².

51

Le bruniss
exercée p
à fluer d
($R < 130$
Ce procé
■ une a
■ une
résistanc
■ un ca

51 ■

Ce brun
concepti
) et la f
présenta

État d
Vitesse
Avanc
Nécess

EMPOI :

Lors d
compre
permet

51 ■

C'est
révolu
des b
ceme
Les g
roule
inver
d'ob
cône
La p
avan
les
sup
dég
ma
+ v

51 Brunissage

Le brunissage est une opération de finition où la pression exercée par l'outil sur la pièce oblige les crêtes d'une surface à fluer dans les creux. Elle s'applique aux pièces métalliques ($R < 130 \text{ daN/mm}^2$ — $\text{HRc} < 42$).

Ce procédé permet d'obtenir :

- une amélioration de l'état de surface,
- une augmentation de la dureté superficielle et de la résistance à la rupture,
- un calibrage dimensionnel.

51.1 Brunissoirs en diamant*

Ce brunissoir est utilisé pour les surfaces de révolution. Sa conception limite son utilisation près des épaulements (cote a) et la fragilité du diamant interdit son emploi sur des surfaces présentant des interruptions.

État de surface	$R_a = 0,05 \text{ à } 0,40$
Vitesse linéaire	Jusqu'à 230 m/min
Avance	0,08 à 0,10 mm/tr
Nécessité d'un liquide de refroidissement abondant.	

EMPLOI :

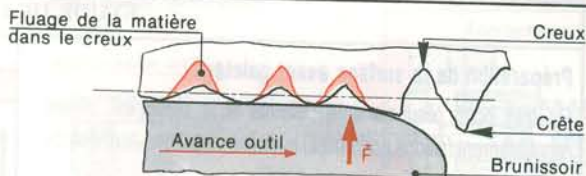
Lors du réglage l'outil est avancé sur la pièce jusqu'à compression totale des ressorts, puis reculé de 1,6 mm pour permettre le libre déplacement du porte-diamant.

51.2 Galetage

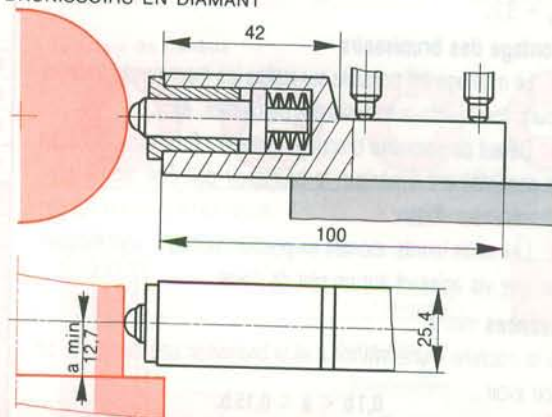
C'est un brunissoir à galets. Il convient pour toute surface de révolution. Il autorise un brunissage près des épaulements et des brunissoirs spéciaux permettent un « galetage de renforcement » pour les congés de raccordement.

Les galets sont coniques et maintenus dans une cage. Ils roulent sur un cône dont la pente, de même valeur, est inversée par rapport à celle des galets. Il est ainsi possible d'obtenir un réglage en diamètre par déplacement axial du cône.

La position inclinée des galets par rapport à l'axe assure une avance automatique. Lorsqu'on arrête l'avance de la machine, les galets continuent à progresser, ce qui a pour effet de supprimer la pression sur la pièce. Il est alors possible de dégager le brunissoir sans inverser le sens de rotation de la machine.



BRUNISSOIRS EN DIAMANT

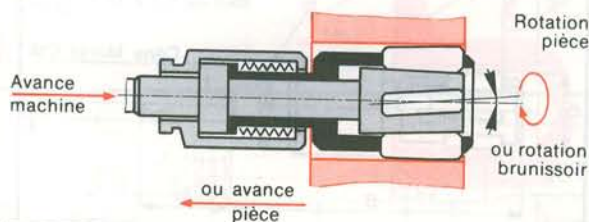


Arbres	À partir de 13 mm environ
Alésages	À partir de 250 mm environ.

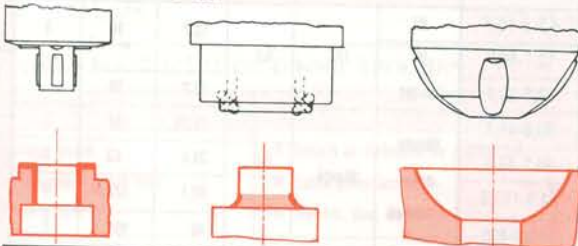
BRUNISSOIRS À GALETS



Mécanisme de dégagement des galets



GALETAGES SPÉCIAUX



* Wiedeker-Goldring. 92303-Levallois.

ÉTUDE DE LA PHASE

Préparation de la surface avant galetage

De très bons résultats sont obtenus si la pièce est usinée régulièrement (sillons uniformes) avec les conditions données ci-contre.

En utilisant ces recommandations, on obtient une rugosité $R_a \approx 3,2$.

Montage des brunissoirs

■ Le montage est possible sur toutes les machines tournantes (tours, tours semi-automatiques, perceuses, etc.).

■ Défaut de coaxialité broche-brunissoir : 0,15 max. Si l'écart de coaxialité est supérieur, le brunissoir doit être monté avec un entraîneur flottant.

■ Les outils lourds, montés en position verticale, sont bloqués par une vis agissant sur un plat de l'outil.

Avances mm/tr

Si la machine a une avance a et le brunissoir une avance b , on doit avoir :

$$0,1b < a < 0,15b.$$

Fréquence de rotation n tr/min

Voir tableau ci-contre.

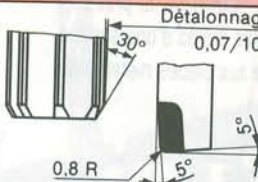
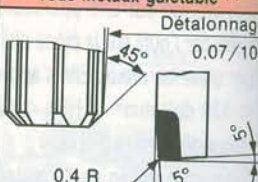
Sens de rotation

Rotation à droite de la pièce ou de l'outil.

Lubrification

Huile de coupe ou émulsion grasse, abondante et filtrée.

CONDITIONS D'USINAGE AVANT GALETAGE

Fonte	Tous métaux galetable (1)
	
Surépaisseur : 0,013	Surépaisseur : 0,032
Avance : 0,10 à 0,13	Avance : 0,20 à 0,25
Tolérance maximale : IT 8 (pour grandes séries)	

AVANCE AUTOMATIQUE DES BRUNISSOIRS b mm/tr

D	b*	n**	D	b*	n**	D	b*	n**
5	0,10	1500	25	0,64	1000	65	1,73	300
7	0,15		30	0,76		66	1,02	400
8	0,18		35	1,01		75	1,12	
10	0,25		40	1,07		85	1,27	
13	0,28	1000	45	1,15	600	100	1,63	250
16	0,38		50	1,40		120	1,96	
18	0,45		55	1,45		140	2,36	
20	0,50		60	1,52		160	2,67	200

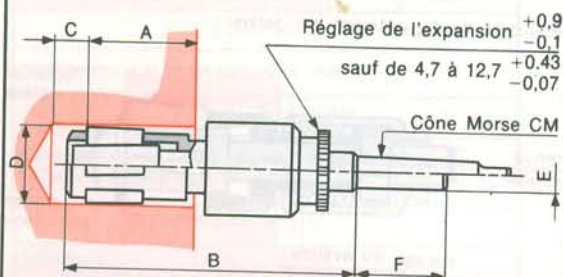
* Les avances peuvent être augmentées de 50 %.

** Les fréquences peuvent être augmentées ou diminuées de 50 %.

ÉTATS DE SURFACE OBTENUS PAR GALETAGE

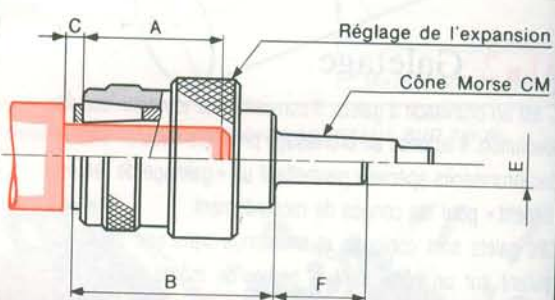
Bronzes. All. d'aluminium	R_a 0,05 à 0,20
Aciers	R_a 0,10 à 0,20
Fontes	R_a 0,25 à 0,50

BRUNISSOIRS D'ALÉSAGES À GALETS



D'	A	B	C	E	F	CM
4,7 à 12,7	92	178	5,5	12,7	38	1
12,7-16,7	98			12,7	38	
16,7-30,9	92-101			19,05	38	2
30,9-46,8	Illimité avec rallonges	Illimité	6,3	25,4	63	3
46,8-84,9			7,1	38,1	127	4
84,9-165,9				40	100	5
165,9-400						

BRUNISSOIRS D'ARBRES À GALETS



D*	Réglage	A	B	C	E	F	CM
2,75-11,9	+ 0,07 - 0,43	75	98 103	2,4	25,4	50	3
11,9-38,1	+ 0,1 - 0,9	90	116	4	31,75	95	
38,1-66,7		110	140		44,45	95	4
66,7-95,3		110	140		44,45	95	

*Cotes nominales de 0,4 en 0,4 jusqu'à 12,7; de 0,8 en 0,8 jusqu'à 400.

(1) $R < 130 \text{ daN/mm}^2$ — $HRc < 42$.

Madison-Univacrier. 93500-Pantin. Hegenscheidt-Armor. 44000-Nantes. Wiedeke-Golding. 92203-Levallois, etc.

52 Brochage

Le brochage est un procédé d'usinage de surfaces à l'aide d'un outil de forme à tranchants multiples appelé « broche ». Si le profil à brocher est fermé, le brochage est intérieur. Il est extérieur si le profil est ouvert.

REMARQUES :

- Le brochage intérieur nécessite que la broche puisse traverser la pièce. Il est donc nécessaire de réaliser au préalable un trou débouchant.
- Par une rotation relative, entre la pièce et la broche, conjuguée avec la translation de la broche, il est possible d'engendrer des surfaces hélicoïdales (angle d'hélice maximal : 45° environ) ; par exemple : filetage à plusieurs filets, rayage de canons d'armes.

Précision	Normale	IT 6	Possible	IT 5
Rugosité		Ra 0,8		Ra 0,4

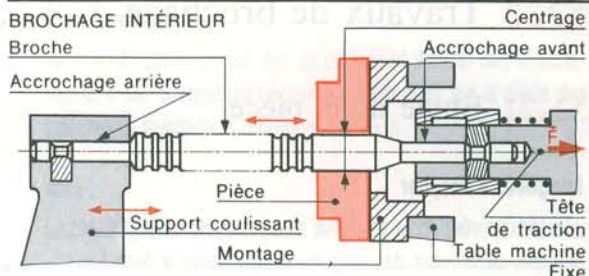
52.1 L'outil broche

Les dents augmentent de hauteur (e) progressivement, de telle sorte que chacune entaille plus profondément la pièce que celle qui la précède.

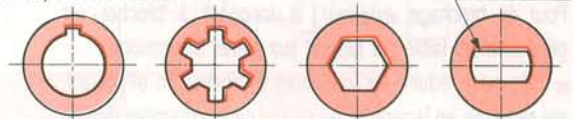
EXEMPLES DE PROGRESSIONS e			
Matière	Ébauche	1/2 finition	Finition
Aciers jusqu'à 70 daN/mm ²	0,06	0,04	0,02
Fontes	0,2	0,08	0,02
Bronzes-Laitons	0,3	0,16	0,02
Alliages d'aluminium	0,15	0,12	0,02

Suivant l'emploi une broche peut avoir :

- des progressions différentes (une pour l'ébauche, une pour la demi-finition et une autre pour la finition par exemple),
- une progression constante (par exemple pour des surfaces à finir).

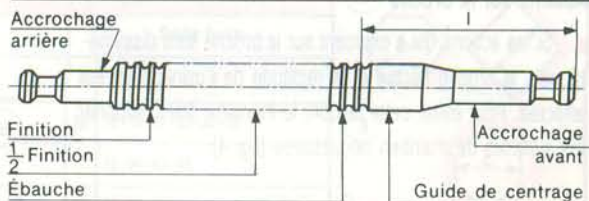
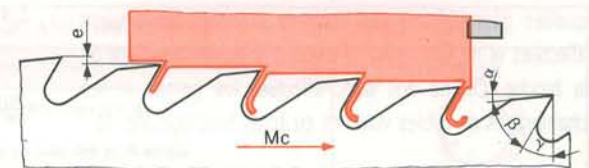
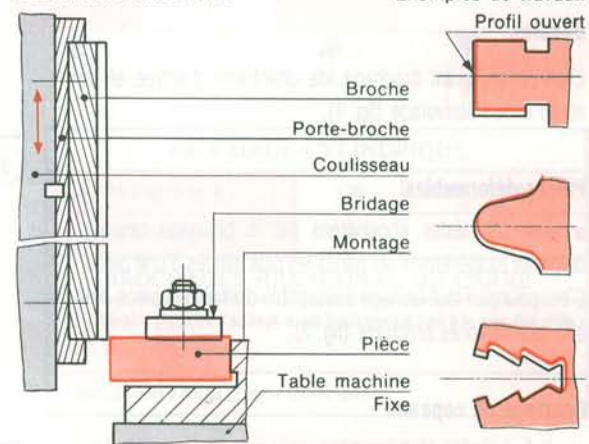


Exemple de travaux



BROCHAGE EXTÉRIEUR

Exemples de travaux



RENSEIGNEMENTS NÉCESSAIRES POUR L'ÉTUDE D'UNE BROCHE*

Machine	Outil	Pièce
■ Type ■ Puissance ■ Course	■ Type de l'accrochage avant ■ Distance l de l'extrémité à la 1^{re} dent ■ Type d'accrochage arrière	■ Dessin de définition de produit fini ■ Cotes avant brochage ■ Matière, état, dureté

* Données à fournir au constructeur spécialisé.

52.2 Travaux de brochage

52.21 Étude de la pièce

Longueur à brocher

■ Afin de réduire la longueur des broches, on évite, en principe, de brocher des longueurs supérieures à deux fois le diamètre de broche (brochage intérieur) [fig. 1].

Pour le brochage extérieur, la longueur à brocher est généralement faible par rapport aux autres dimensions.

■ On peut réduire les longueurs à brocher en effectuant, par exemple, un lamage à une ou aux deux extrémités (fig. 1).

Bavures

L'exécution, avant brochage, de chanfreins d'entrée et de sortie évite l'ébavurage (fig. 1).

Pièces déformables

■ Les contraintes engendrées par le brochage peuvent déformer exagérément les parois les plus minces d'une pièce. C'est pourquoi tout usinage susceptible d'affaiblir la pièce doit être réalisé après brochage (fig. 2).

Bourrage de copeaux

■ Il faut éviter tout bourrage excessif de copeaux. Les qualités géométriques des surfaces brochées en seraient affectées et on risquerait, en outre, d'entraîner la rupture de la broche. On ne doit donc effectuer les gorges et les chambrages de faibles volumes qu'après brochage (fig. 3).

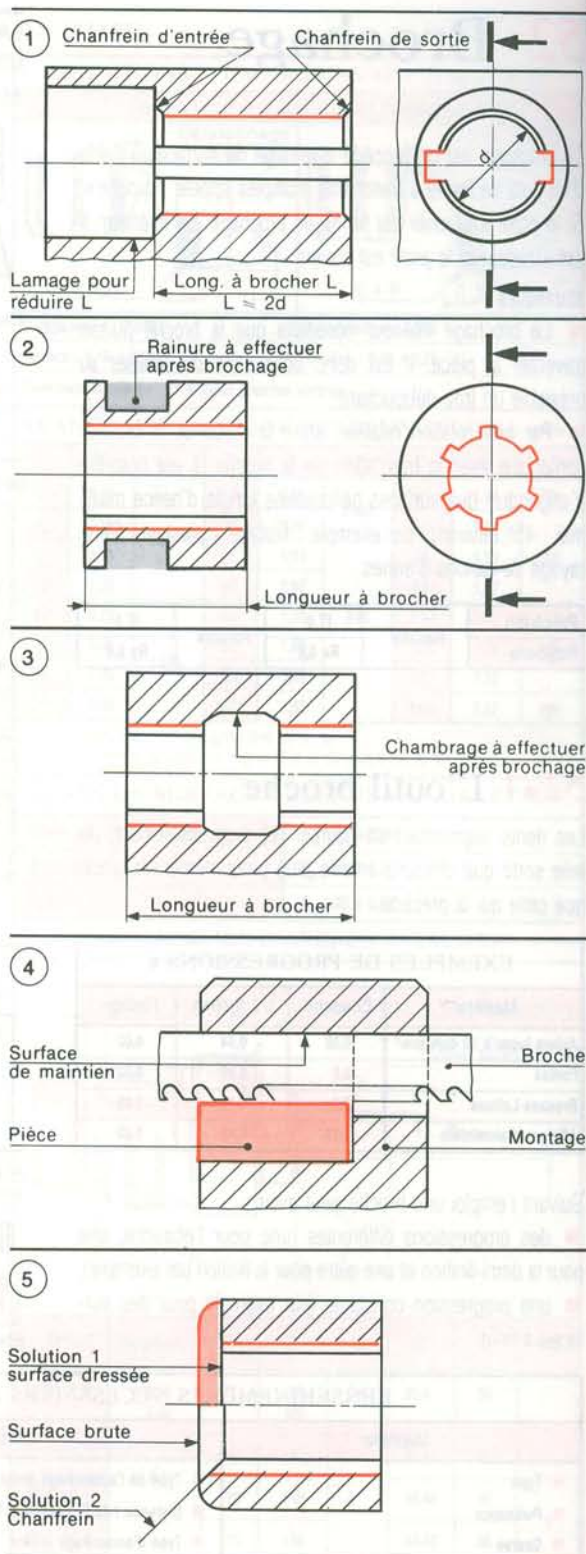
Actions sur la broche

■ Si les actions qui s'exercent sur la broche sont dissymétriques, la broche fléchit et la rectitude de l'usinage en est affectée. Pour éviter cette flexion, le montage doit comporter les surfaces de maintien nécessaires (fig. 4).

Usure des dents

■ Afin de réduire l'usure de l'outil, il faut éviter que les dents n'attaquent directement sur une surface brute. Il est conseillé :

- soit de dresser au préalable l'extrémité de la pièce,
- soit d'effectuer un chanfrein (fig. 5).



Matière

■ A cause de la fragilité des dents de la broche, on évite de brocher des pièces dont la résistance à la rupture par extension est supérieure à 950 MPa. Exceptionnellement, avec des broches en acier rapide au cobalt ou en carbure, il est possible de dépasser cette valeur, mais la durée de vie des broches est souvent abrégée.

État de surface

■ Afin d'obtenir un bon état de surface et d'éviter des arrachements, il est quelquefois nécessaire d'effectuer sur la pièce des traitements thermiques d'homogénéisation.

NOTA :

Le brochage s'effectue toujours avec une lubrification abondante.

52.22 Étude de la phase

RÈGLE :

En général le brochage est la première phase de finition.

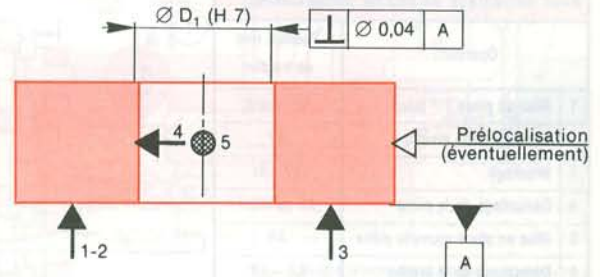
■ Pour les phases suivantes éventuelles, la pièce est reprise par les surfaces brochées.

■ Si la reprise par les surfaces brochées n'est pas possible, le brochage est effectué à la dernière phase et le montage est conçu pour centrer à la fois la pièce et la broche.

PRISE DE PIÈCE :

Pour le brochage intérieur, la prise de pièce est, dans la majorité des cas, réalisée par un appui plan sur la table de la machine et un centrage court sur le guide de la broche (voir figure).

EXEMPLE DE PRISE DE PIÈCE



BROCHAGE CYLINDRIQUE

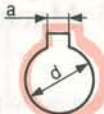
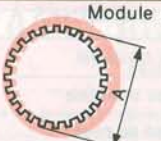
Ø après brochage D	≤ 20	20 - 50	50 - 100
Ø avant brochage D ₁	D - 0,3	D - 0,5	D - 0,8

BROCHAGES HEXAGONAL OU CARRÉ

En général le diamètre d'alésage avant brochage est égal à la cote sur plats (G.D. 31).

Valeurs données à titre de première approximation.

BROCHES STANDARDS*

① Rainures de clavettes (G.D. 38)				② Hexagone - Carré (G.D. 31)				① ② ③ n cannelures	
Broche plate cote a		2 à 20		a	Mêmes dimensions que les cotes sur plats des vis et écrous				
Broche cylindrique		sur commande							
③ Cannelures à flancs parallèles (G.D. 38-2)									
Série légère			Série moyenne			Série forte			
n	d		n	d		n	d		
6	23-26-28		6	11-13-16-18-21-23-26-28		10	16-18-21-23-26-28		
8	32-36-42-46-52-56-62		8	32-36-42-46-52-56-62			32-36-42-46		
—	—		10	72-82-92-102		16	52-56		
④ Cannelures à flancs en développante (G.D. 38-22)				⑤ Dentelures rectilignes (G.D. 38-3)					
m	1	A	8 à 35	Module : m 	m	0,5	A	8 à 22	Module : m 
	1,25		10 à 50			0,75		24 à 30	
	1,667		15 à 60			1		33 à 39	
	2,5		20 à 100			1,5		42 à 48	
	5		65 à 130						

*Longueur à brocher $L \leq 2 d$ env.

En principe il est gravé sur les broches l'effort maximal de traction.

D'après S.I.N.B.R.O. 92400-Courbevoie. R.B.V. — Univacrier. 93500-Pantin.

Marchello. 92400-Courbevoie, etc.

52.23	Matière	Aciers R ≤ 60	Aciers R ≤ 90	All. d'aluminium	Fonte Ft20	Bronzes-Laitons
VITESSE DE COUPE en m/min*	Brochage intérieur	2 à 4	1,5 à 3	4 à 6	2 à 4	3 à 6
Broche en acier rapide	Brochage extérieur	4 à 6	2 à 5	6 à 10	5 à 8	6 à 10

Lubrification abondante.

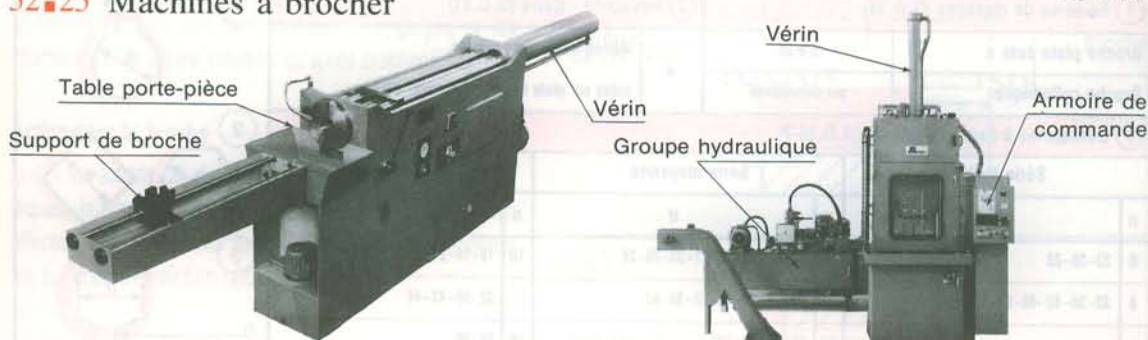
Valeurs données à titre de première estimation.

52.24 Exemples de travaux

RAINURES DE CLAVETTES*		
Avec démontage de broche (pièces lourdes)		
Opération	Position tête de traction	
1 Mise en place 1 ^{re} pièce	AV (avant)	①
2 Montage de la broche	AV	
3 Brochage	AV → AR	
4 Démontage de la pièce	AR (arrière)	④ ⑤
5 Mise en place nouvelle pièce	AR	
6 Démontage de la broche	AR → AR'	⑥
7 Transfert de l'outil	AV ← AR'	
8 Le cycle recommence à 2	—	
Sans démontage de broche (pièces maniables)		
Opération	Position tête de traction	
1 Montage de la broche	AV	① ②
2 Mise en place de la pièce	AV	
3 Brochage	AV → AR	
4 Démontage de la pièce	AR	④
5 Avance de la broche	AV ← AR	⑤
6 Le cycle recommence à 2	—	

* D'après R. B. V.

52.25 Machines à brocher



Cl. J.I.C. Systems

MACHINES À BROCHER HORIZONTALES**		MACHINES À BROCHER VERTICALES**	
Force maximale	40 kN	Force maximale	250 kN
Course maximale	1 000	Course maximale	2 000
Vitesse de coupe	6 m/min	Vitesse de coupe	2 à 24 mm/min

** J.I.C. Systems : Z.I. 6, rue de Buray 41500 Mer.

53 Électro-érosion

L'électro-érosion est un procédé d'usinage non mécanique. L'enlèvement de matière est obtenue par des décharges électriques entre une électrode pièce et une électrode-outil.

Ce procédé est caractérisé par les propriétés suivantes :

- Usinage de matériaux trempés et durs impossibles à usiner avec les procédés par enlèvement de copeaux.
- Usinage continu de formes tridimensionnelles « démontables » (l'outil pénètre dans la pièce et il y laisse sa forme complémentaire).

Exemples d'applications

- Matrices d'outillages de presse.
- Moules métalliques.
- Estampes.
- Profilage d'outils de forme en carbure.
- Micro-usinages.

REMARQUES :

- Le procédé ne s'applique qu'aux matières conductrices de l'électricité.
- Il est possible d'obtenir des surfaces hélicoïdales en donnant à l'outil un mouvement de rotation conjuguée avec son mouvement de translation.

Précision*	Ébauche	1/2 finition	Finition normale	Finition possible
	0,5	0,1	0,03	0,01
Rugosité*	normale : 3,2		possible : 1,6	
Fonction de l'électrode, des matériaux et des conditions d'usinage.				

53.1 L'outil électrode

On distingue :

- les électrodes générant un profil et pour lesquelles seul le jeu latéral d'étincelage est fonctionnel ;
- les électrodes engendrant une empreinte et pour lesquelles le jeu frontal d'étincelage est également fonctionnel.

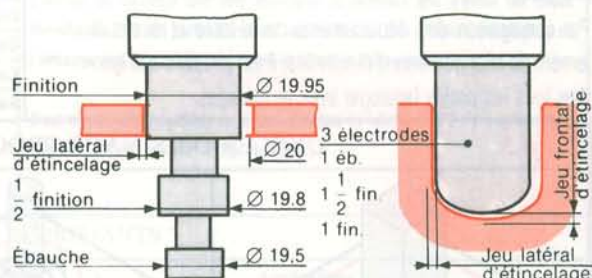
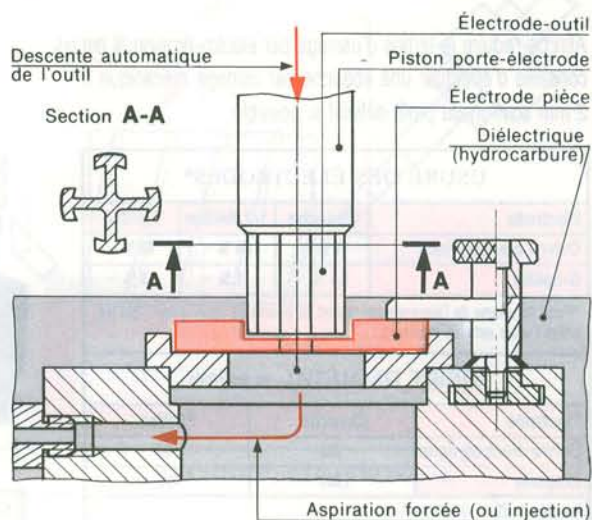
Pour réduire les effets de l'usure de l'électrode-outil, on prend en fonction des possibilités d'usinage :

- soit une électrode pour chaque passe,
- soit une électrode étagée (trou débouchant).

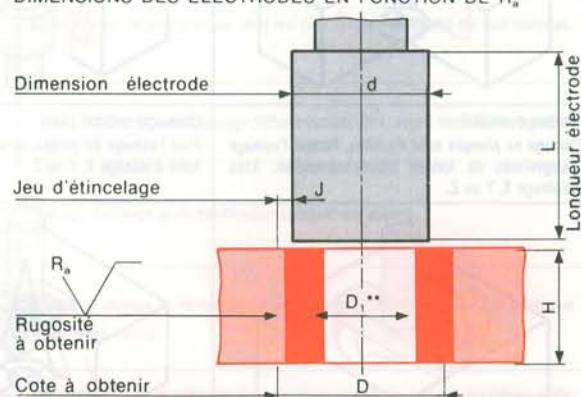
*Critère de rugosité (G.D. 16).

** D_1 : Trou d'ébauche à effectuer en fonction des possibilités $D_1 \approx D - 2$ mm.

ÉLECTRO-ÉROSION



DIMENSIONS DES ÉLECTRODES EN FONCTION DE R_a *



R_a	1,6	3,2	6,3	12,5
J	0,02	0,05 à 0,1	0,2 à 0,3	0,4 à 0,6
L	2 H	1,5 H	H	0,6 H

Ces valeurs sont fonction notamment de la nature des matériaux de l'électrode, de la pièce et des conditions d'usinage. Elles sont données à titre d'estimation.

53■2 Étude de la phase

Afin de réduire le temps d'usinage par électro-érosion, il est conseillé d'effectuer une ébauche par usinage mécanique à 2 mm environ du profil définitif si possible.

USURE DES ÉLECTRODES*

Électrode	Ébauche	1/2 finition	Finition
Cuivre électrolytique	1 % ~	30 % ~	50 % ~
Graphite	0,5 % ~	1 % ~	5 % ~

* Perte de volume de l'électrode par rapport au volume de métal enlevé. Sur les arêtes l'usure est plus importante.

DÉBIT DE MÉTAL en mm³/min

Électrode	Ébauche	Finition
Cuivre électrolytique	200	80
Graphite	1000	400

Possible de 20 à 10 000 mm³/min.

REMARQUE :

Par conjugaison des déplacements de la table et éventuellement de changements d'électrodes, il est possible d'engendrer tous les profils (analogie avec le fraisage).

MACHINE CHARMILLES* Type FORM 20

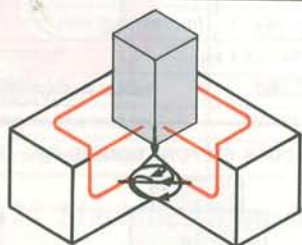


MACHINE CHARMILLES Type FORM 20

Dimensions de la table	300 x 400
Course longitudinale X	300
Course transversale Y	250
Course du coulisseau Z	250
Résolution des verniers	0,002

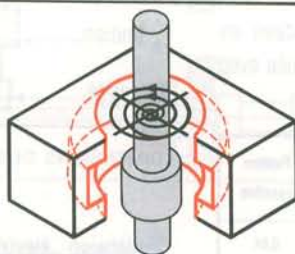
53■3

CYCLES D'USINAGE PROGRAMMÉS ROBOFORM



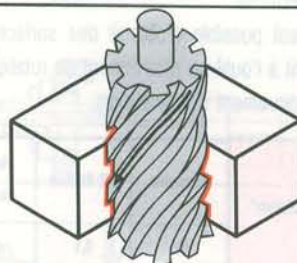
Usinage orbital

Usinage en plongée suivi d'orbites. Permet l'usinage d'empreintes de formes tridimensionnelles. Axes d'usinage X, Y ou Z.



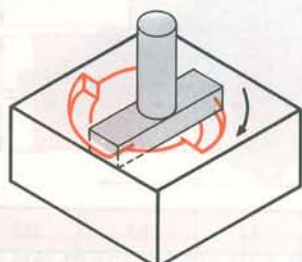
Usinage orbital plan

Pour l'usinage de gorges, taraudages, etc. Axes d'usinage X, Y ou Z.



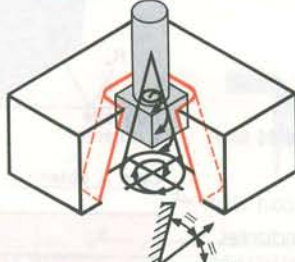
Usinage en hélice

Pour l'usinage de taraudages et de rainures hélicoïdales.



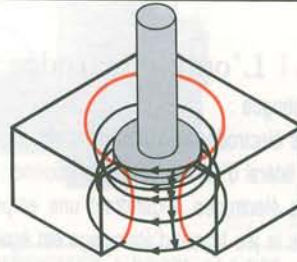
Usinage vectoriel

Combiné avec rotation de l'électrode pour l'usinage de formes compliquées au moyen d'électrodes de formes simples.



Usinage conique

Pour l'usinage de dépouilles négatives et positives. Angles programmables de 0 à ± 90°. Axes d'usinage X, Y ou Z.



Usinage sphérique convexe

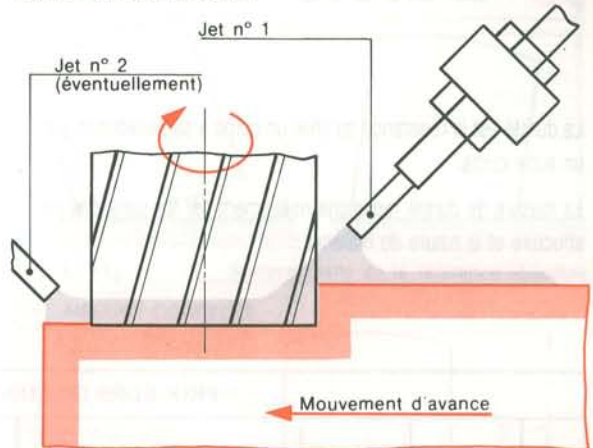
Permet d'usiner des formes sphériques avec des électrodes en forme de sphère ou des calottes sphériques avec des électrodes cylindriques minces. Axes d'usinage X, Y ou Z.

54 Lubrification

L'action d'un fluide de coupe assure des fonctions multiples, notamment :

- refroidir l'outil et la pièce usinée,
- diminuer les frottements des copeaux sur la face de coupe,
- réduire le frottement de l'outil sur la pièce,
- améliorer l'état de surface en évitant les micro-soudures de particules de métal (arête rapportée),
- évacuer les copeaux hors de la zone de coupe,
- réduire les efforts de coupe,
- augmenter la durée de coupe d'un outil.

TECHNIQUE D'ARROSAGE



MATÉRIAU	LUBRIFIANT	TECHNIQUE D'ARROSAGE
Aciers R < 70 daN/mm ²	Huile soluble - Huile minérale EP	L'arrivée du lubrifiant doit être abondante et continue afin d'éviter les chocs thermiques. Ceci est particulièrement important pour les carbures métalliques où l'arrosage doit être commencé avant le début de l'usinage. Il est recommandé d'utiliser au moins deux jets de lubrifiant. S'il n'y a qu'un jet, le disposer comme le jet n° 1 (fig. ci-dessus).
Aciers R ≥ 70 daN/mm ²	Huile soluble - Huile min. EP - Liquide synthétique	
Aciers inoxydables	Huile minérale EP - Huile soluble EP	
Aciers à outils	Huile minérale EP	
Bronzes, laiton, fontes	Usinage à sec - Huile soluble - Liq. semi synthétique	
Alliages d'aluminium	Huile soluble - Liquide synthétique	
Alliages de cuivre	Huile soluble - Liq. synthétique - Huile compoundée	
Titane	Huile soluble	
Matériaux plastiques	Huile soluble (2 %)	

TYPES DE LUBRIFIANTS

Catégorie	Composition	Aspect	Applications
Produits solubles	Huiles solubles	Blanc laiteux semi-transparent à opaque suivant le pourcentage d'huile	Liquide de coupe pratiquement universel pour les travaux usuels sur tout matériau.
	Eau, huile minérale (5 à 10 %) émulateur.		
	Huiles solubles EP*		
	Huile soluble avec additifs.	Semi-transparent	Travaux sur matériaux d'usinage difficile (aciers durs, aciers inoxydables, etc.).
	Liquides semi-synthétiques		
	Eau, huile minérale (5 à 25 %) additifs divers.		
Huiles entières	Liquides synthétiques	Transparent	Travaux d'usinage et de rectification courants sur métaux.
	Eau, produits de synthèse et additifs divers.		
	Huiles minérales	Semi-transparent	Ce lubrifiant évite le grippage des glissières non protégées des machines-outils. Aciers et alliages légers.
	Obtenues par raffinage du pétrole.		
	Huiles « compoundées »**		
	Contient des corps gras (huile de lard, etc.)		
	Huiles minérales EP*		Travaux d'usinage relativement difficiles, brochage, taillage d'engrenages, filetage, fraisage en avalant, usinage d'aciers à outils et d'aciers inoxydables.
	Huile minérale avec additifs.		

* Additif dit « extrême-pression » (EP) ayant pour but de maintenir un film de lubrifiant même dans des conditions d'usinage difficiles.

** Compoundée ≈ mélangée.

55 Dureté

Il existe une relation approximative entre la résistance à la rupture et la dureté Brinell qui est valable uniquement pour les aciers.

$$R_r \approx 3,5 H_b$$

R_r : résistance à la rupture (MPa)

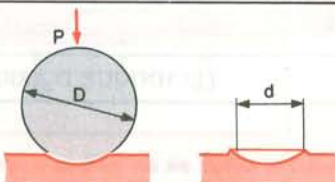
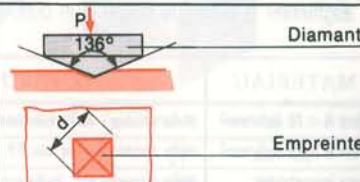
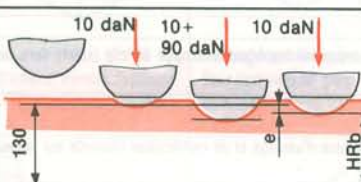
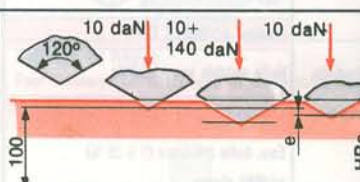
HB : dureté Brinell (MPa)

Voir également le tableau de correspondance entre les différentes mesures de dureté et la résistance à la rupture des aciers (G. D. chapitre 72).

La dureté est la résistance qu'offre un corps à sa pénétration par un autre corps.

La mesure de dureté renseigne notamment sur les variations de structure et la nature du matériau.

PROCÉDÉS DE MESURE DE DURETÉ

BRINELL (HB)	Principe		VICKERS (HV)	Principe	
	Mesure	$HB = \frac{\text{charge d'essai (daN)}}{\text{aire de l'empreinte (mm}^2\text{)}}$ $HB = \frac{2 P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$		Mesure	$HV = \frac{\text{charge de l'essai (daN)}}{\text{aire de l'empreinte (mm}^2\text{)}}$ $HV = \frac{P}{d^2/2 \sin(136/2)} = \frac{1,854 P}{d^2}$
	Pénétrateur	Bille Ac. Ø 10,5 ; 2,5 ou 1		Pénétrateur	Pyramide diamant
	Charge	30 D ² pour les Ac.		Charge	1,5 ; 10 ; 20 ; 30 ; 50 ; 60 ; 120 daN
	Domaine d'emploi	Matériaux de dureté faible et moyenne. Pièces indéformables.		Domaine d'emploi	Matériaux de dureté moyenne et élevée. Pièces réfléchissantes.
ROCKWELL B (HRb)	Principe		ROCKWELL C (HRC)	Principe	
	Mesure	HRb = 130 - e e = déformation rémanente.		Mesure	HRC = 100 - e e = déformation rémanente.
	Pénétrateur	Bille Ac. Ø 1,6		Pénétrateur	Cône diamant
	Charge	100 daN		Charge	150 daN
	Domaine d'emploi	Matériaux de faible et moyenne dureté. R _r ≤ 800 Mpa*		Domaine d'emploi	Matériaux durs. R _r > 800 Mpa*

1 Mpa = 1 N/mm².

56 Références simulées

NF E 04-554

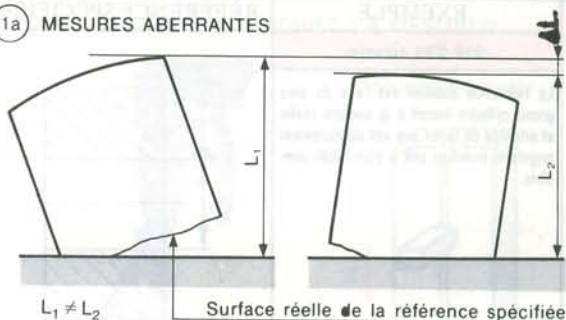
Toute surface réelle de référence peut présenter des défauts de forme qui rendent aberrantes les vérifications effectuées sur une pièce. C'est le cas notamment pour une surface de référence convexe (fig. 1a). **Afin d'éviter toute équivoque, les vérifications doivent s'effectuer à partir de références simulées.**

Les références simulées sont la matérialisation, pour la vérification, des références spécifiées sur le dessin de définition (fig. 1b).

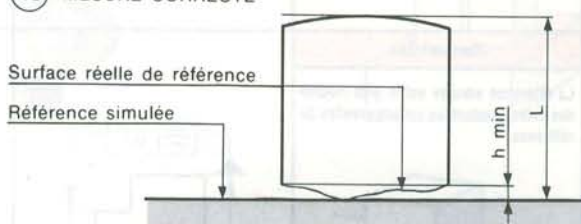
REMARQUES :

- Pour les surfaces d'allure générale concave (fig. 2), les références simulées sont définies sans équivoque.
- Pour les surfaces d'allure générale convexe, la référence simulée est orientée de façon que la distance h entre elle et le point le plus éloigné de la surface réelle soit minimale.
- Les erreurs géométriques des références simulées doivent être négligeables par rapport aux tolérances à vérifier.
- La référence simulée peut être établie matériellement (contrôle conventionnel) ou théoriquement (mesures en coordonnées).

1a MESURES ABERRANTES

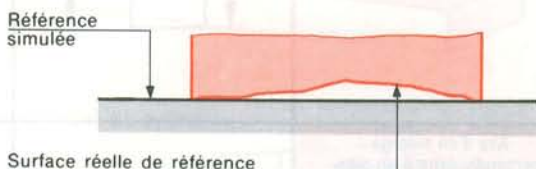


1b MESURE CORRECTE



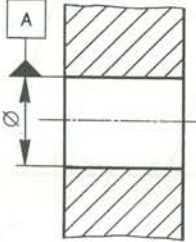
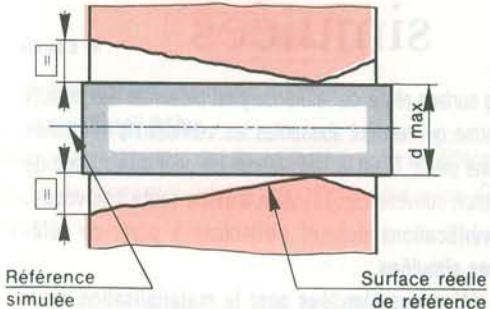
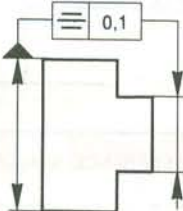
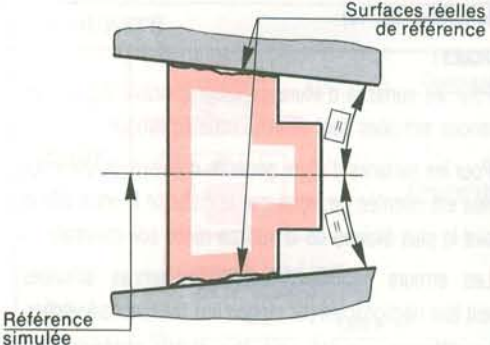
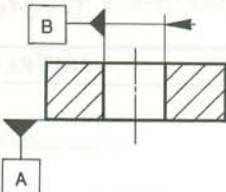
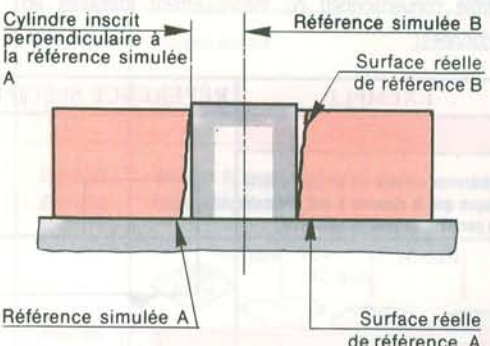
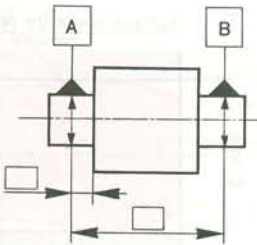
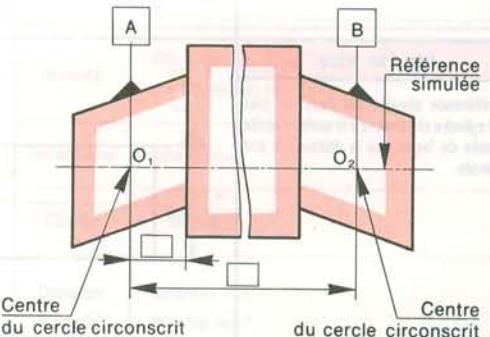
2 RÉFÉRENCE SIMULÉE

Surfaces concaves



EXEMPLE	RÉFÉRENCE SPÉCIFIÉE	RÉFÉRENCE SIMULÉE
Plan La référence simulée est un plan orienté de façon que la distance h soit minimale (a, b parallèle au plan de référence).		
Axe d'un arbre La référence simulée est l'axe du plus petit cylindre circonscrit à la surface réelle orientée de façon que la distance h soit minimale.		

* la valeur h min peut être vérifiée à l'aide de cales.

EXEMPLE	RÉFÉRENCE SPÉCIFIÉE	RÉFÉRENCE SIMULÉE
Axe d'un alésage La référence simulée est l'axe du plus grand cylindre inscrit à la surface réelle et orientée de façon que son déplacement angulaire éventuel soit le plus faible possible.		
Plan médian La référence simulée est le plan médian des plans simulant les surfaces réelles de référence.		
Axe d'un alésage perpendiculaire à un plan La référence simulée est l'axe du plus grand cylindre inscrit dans l'alésage et perpendiculaire à la référence simulée du plan A.	 A : référence primaire B : référence secondaire	
Axe commun à deux cylindres La référence simulée est l'axe défini par les centres des plus petits cercles circonscrits aux sections A et B.		

57 Mesure en coordonnées

DIN 32880 NF E 05-015 NF E 11-150 NF X 05-901

La mesure en coordonnées permet de contrôler, par mesures successives de points, la forme, les dimensions et la position de surfaces ou de profils quelconques.

57.1 Machine à mesurer

Système de mesure, utilisé à poste fixe et conçu pour effectuer des mesurages à partir de déplacements linéaires ou angulaires générés par la machine.

Ces machines sont uni, bi ou tridimensionnelles en fonction du nombre d'axes de déplacement. Elles peuvent être à commande manuelle, motorisée ou numérique.

57.1.1 Palpage

Exploration d'une pièce conduisant au repérage de la position d'un ou plusieurs points par rapport aux axes de déplacement.

Lorsque le repérage est effectué à l'arrêt, le palpage est dit « statique » ; lorsqu'il est effectué au cours d'un déplacement, il est dit « dynamique ».

57.1.2 Axe de déplacement

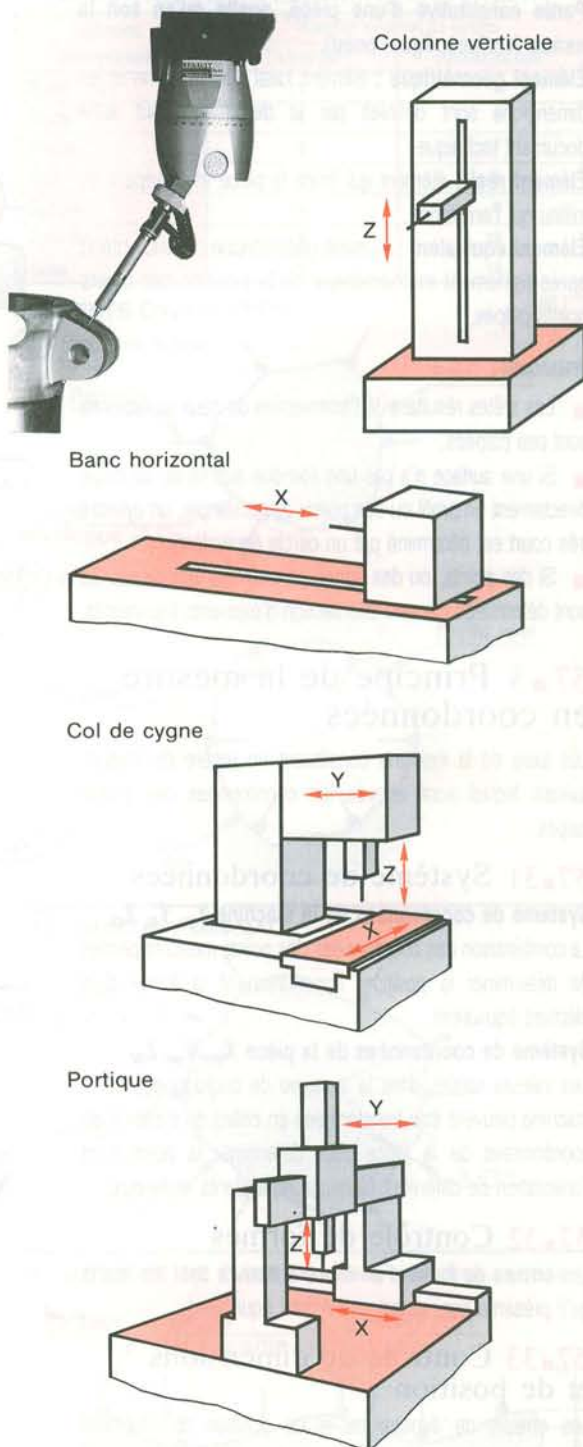
Vecteur à partir duquel sont déterminés :

- soit l'amplitude de déplacements linéaires ou angulaires (axe de mesure),
- soit un repère de position linéaire ou angulaire (axe de positionnement).

57.1.3 Types de machines à mesurer

Les figures ci-contre schématisent les principaux types. Les machines à mesurer à trois axes linéaires peuvent être transformées en machine à coordonnées cylindriques, soit par l'adjonction d'un axe de rotation à la place d'un axe linéaire, soit par l'addition d'un axe de rotation (plateau tournant).

PRINCIPAUX TYPES DE MACHINES À MESURER



EXEMPLE DE DÉSIGNATION	
Machine à mesurer tridimensionnelle, à portique, commande numérique, X = 600, Y = 800, Z = 450, palpage dynamique NF E 11-150	
EXEMPLE DE PRÉCISION*	
Incertitude de mesure dans le volume (μm)	$M = 4,5 + L/200$
Répétabilité de mesure (μm)	$R = 2$

* Renault automation - M. M. T.

57.2 Élément

Partie constitutive d'une pièce, quelle qu'en soit la nature (surface, ligne, point).

Élément géométrique : élément idéal dont la forme et les dimensions sont définies par le dessin ou tout autre document technique.

Élément réel : élément qui limite la pièce et la sépare du milieu qui l'environne.

Élément équivalent : élément géométrique parfait, obtenu après traitement mathématique de la position des divers points palpés.

REMARQUES :

- Les arêtes résultant de l'intersection de deux surfaces ne sont pas palpées.
- Si une surface n'a pas une étendue suffisante, on palpe directement un profil ou des points (par exemple, un cylindre très court est déterminé par un cercle équivalent).
- Si des points, ou des lignes ne peuvent être palpés, ils sont déterminés par une intersection d'éléments équivalents.

57.3 Principe de la mesure en coordonnées

Les axes de la machine constituent un repère de mesure suivant lequel sont relevés les coordonnées des points palpés.

57.3.1 Système de coordonnées

Système de coordonnées de la machine X_G, Y_G, Z_G

La combinaison des coordonnées des points mesurés permet de déterminer la position, l'orientation et la forme d'un élément équivalent.

Système de coordonnées de la pièce X_W, Y_W, Z_W

Les valeurs saisies dans le système de coordonnées de la machine peuvent être transformées en celles du système de coordonnées de la pièce pour déterminer la position et l'orientation de différents éléments équivalents entre eux.

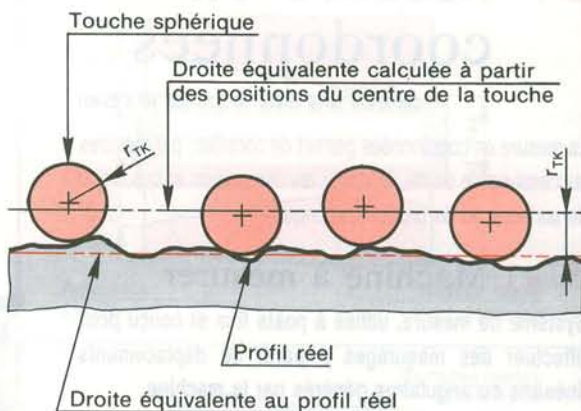
57.3.2 Contrôle de formes

Les erreurs de forme d'un élément mesuré sont les écarts qu'il présente par rapport à l'élément équivalent.

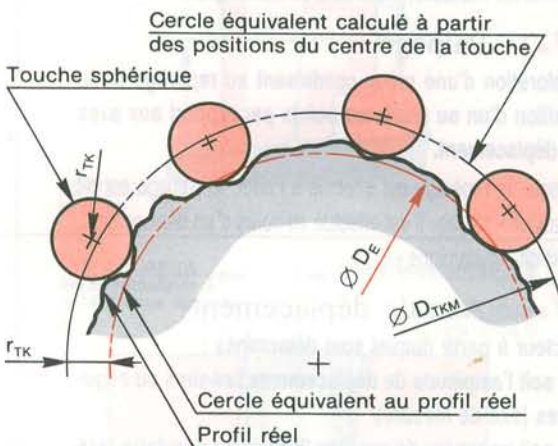
57.3.3 Contrôle de dimensions et de position

Les erreurs de dimensions et de position de l'élément mesuré sont les écarts de l'élément équivalent par rapport aux dimensions et à la position définies par le dessin.

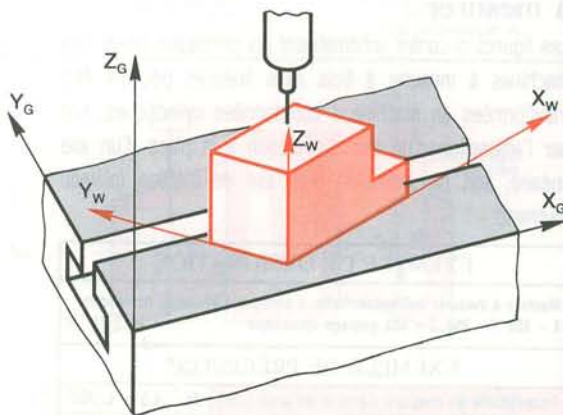
CAS D'UNE DROITE



CAS D'UN ARBRE



SYSTÈME DE COORDONNÉES



57.4 Points de mesure

La détermination de la forme, des dimensions et de la position d'un élément équivalent nécessite un nombre de points de mesure fonction notamment de la géométrie de l'élément, des dimensions et de la précision recherchée.

57.41 Nombre minimal de points

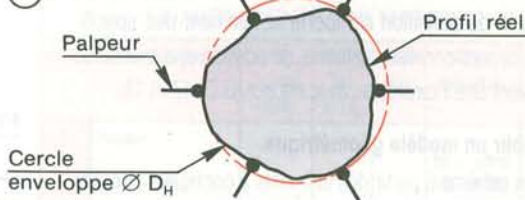
À partir d'un élément réel, le tableau donne le nombre minimal de points de mesure, pour la détermination de l'élément géométrique équivalent*.

DÉTERMINATION DE LA POSITION ET DES DIMENSIONS D'UN ÉLÉMENT ÉQUIVALENT		
Élément géométrique	Nombre minimal de points	
	Théorique	Recommandé*
Point	1	1
Droite	2	5
Cercle	3	7
Plan	3	9
Sphère	4	9
Cylindre	5	12
Cône	6	12

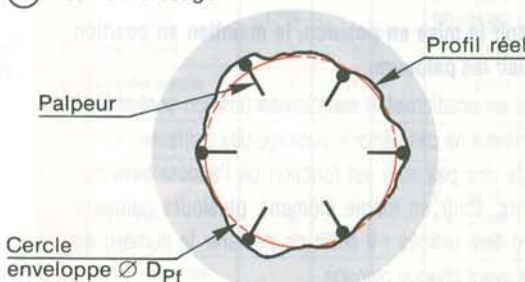
* BS 7172

ÉLÉMENTS ENVELOPPES

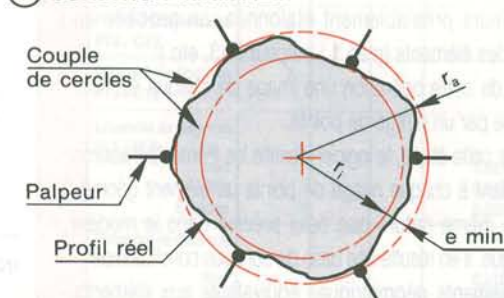
① Pour un arbre



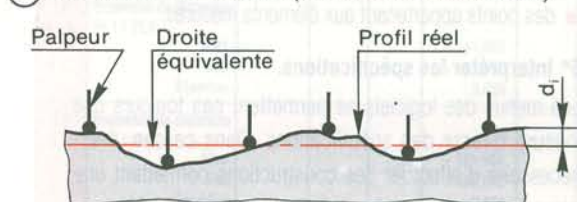
② Pour un alésage



③ CONDITION MINIMALE



④ MÉTHODE DE GAUSS (ou des moindres carrés)



57.42 Nombre de points supérieurs au nombre minimal

En fonction des exigences, on utilise divers critères d'évaluation permettant de déterminer l'élément équivalent le mieux adapté.

57.421 Élément enveloppe**

Les éléments enveloppes servent notamment à la détermination des références simulées et aux contrôles d'appariement.

EXEMPLES DE CERCLES ENVELOPPES :

- Pour un arbre, le cercle enveloppe est le plus petit cercle circonscrit aux points de mesure (fig. 1).
- Pour un alésage, le cercle enveloppe est le plus grand cercle inscrit aux points de mesure (fig. 2).

57.422 Condition minimale**

La condition minimale sert, en particulier, pour la détermination des écarts de forme.

Elle nécessite un couple d'éléments de même forme, de même position et de même orientation. Le couple d'éléments doit englober tous les points et avoir un écart minimal équidistant.

EXEMPLE :

La mesure d'un écart de circularité nécessite deux cercles concentriques, coplanaires et dont la position est choisie de façon à ce que la distance radiale entre eux soit minimale (fig. 3).

57.423 Méthode de Gauss

Cette méthode convient bien à la compensation des écarts aléatoires (fig. 4).

On minimise la somme des carrés des distances d_i des points mesurés à l'élément équivalent.

EXEMPLE :

Pour une ligne droite équivalente au profil réel, la somme des carrés des distances d_i doit être minimale.

* La répartition des points de mesure doit être choisie de façon à réduire l'incertitude de mesure.

** Voir aussi le chapitre 56 : Références simulées.

57.5 Mesures sur MMT*

Soit à mesurer les spécifications suivantes d'une pièce (voir figure ci-contre) :

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| - 0 | ■ Planéité : t1 |
| ■ Longueur : $L1 - ta$ | ■ Perpendicularité : t2 |
| + tb | ■ Cylindricité : t3 |
| ■ Diamètre : $D2 \ 0$ | |

57.51 Méthode

1° Analyser le dessin de définition.

Le dessin de définition comporte notamment des spécifications dimensionnelles, de forme, de position et d'orientation qui doivent être interprétées avec rigueur (G.D. 17 et 18).

2° Établir un modèle géométrique.

Faire un schéma à partir des éléments à contrôler. Identifier et repérer chacun des éléments (plans 1 et 3 - cylindre 2).

3° Définir la mise en position, le maintien en position et choisir les palpeurs.

La mise en position et le maintien en position sont choisis de manière à ne pas gêner le passage des palpeurs.

Le choix des palpeurs est fonction de l'accessibilité des éléments. Pour un même élément, plusieurs palpeurs peuvent être utilisés : il suffit de déclarer le numéro du palpeur avant chaque palpation.

4° Palper les éléments.

Les palpeurs préalablement étalonnés, on procède au palpation des éléments (plan 1 : palpeur Pa3, etc.).

Il résulte de cette opération une image de chaque élément constituée par un nuage de points.

À partir de cette étape, le logiciel identifie les éléments mesurés en associant à chaque nuage de points un élément géométrique de même nature que celui précisé dans le modèle géométrique. Il en résulte une base de données constituée par :

- des éléments géométriques équivalents aux éléments mesurés (PL1, PL3, CY2**);
- des points appartenant aux éléments mesurés.

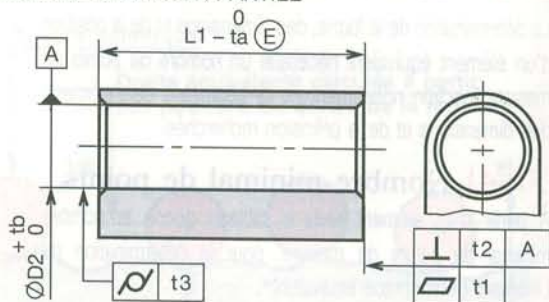
5° Interpréter les spécifications.

Les menus des logiciels ne permettent pas toujours une mesure directe des spécifications. Dans ce cas, il est nécessaire d'effectuer des constructions permettant une interprétation correcte des spécifications (voir § 57.53).

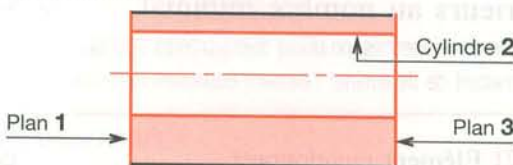
* MMT ou CMM : Machine à mesurer tridimensionnelle.

** Chaque élément géométrique équivalent est affecté d'un vecteur qui en définit la position et l'orientation.

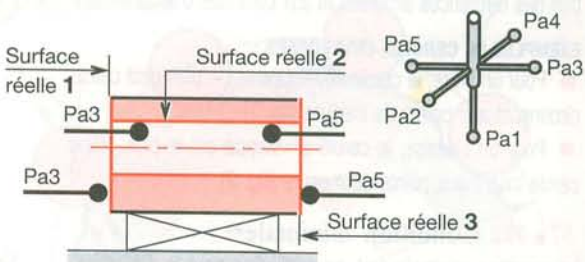
DESSIN DE DÉFINITION PARTIEL



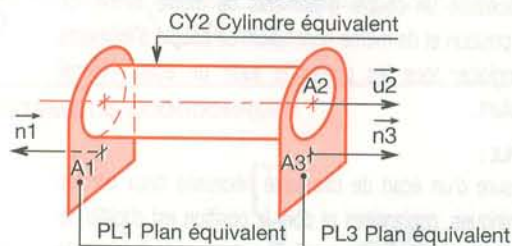
MODÈLE GÉOMÉTRIQUE



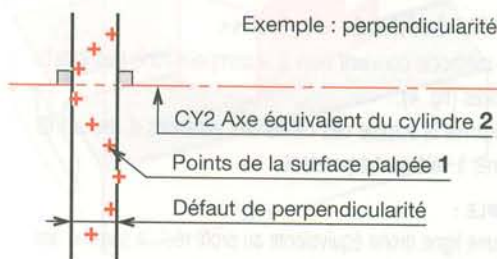
MISE EN POSITION - CHOIX DES PALPEURS



IDENTIFICATION DES ÉLÉMENTS



INTERPRÉTATION DES SPÉCIFICATIONS



6° Réaliser les constructions.

Pour cette application, la mesure de l'écart de perpendicularité nécessite la construction d'un plan perpendiculaire à CY2 :

- point PT4, intersection de l'axe CY2 avec le plan PL1 ;
- plan PL6, passant par le point PT4 et perpendiculaire à l'axe CY2.

7° Choisir les menus - Vérifier les spécifications.

Les menus du logiciel de traitement permettent de vérifier les valeurs des spécifications suivantes :

Longueur L1 = 142 - 0,15 (E) (G.D. 18-12)

« Ensemble de distances Surface PL1 / Plan PL3 ».

« Ensemble de distances Surface PL3 / Plan PL1 ».

La mesure de la distance entre deux surfaces nécessite deux mesures, chaque surface étant alternativement prise comme plan de référence. La mesure la plus défavorable est retenue.

Diamètre D2 = 32 + 0,05

Obtenu directement lors du palpéage.

Planéité t1 = 0,05

Obtenu directement lors du palpéage.

On peut appliquer le menu :

« ensemble de distances Surface PL1 / Plan PL1 ».

Perpendicularité t2 = 0,05

« Ensemble de distances Surface PL1 / Plan PL6 ».

« Ensemble de distances Surface PL3 / Plan PL7 ».

Cylindricité t3 = 0,05

Obtenu directement lors du palpéage.

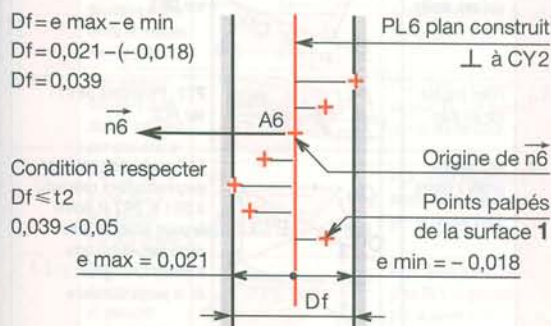
8° Comparer les valeurs mesurées (voir compte rendu) avec les spécifications du dessin de définition et conclure.

Par exemple pour L1 : $L1 - t_a \leq L \text{ mesuré} \leq L1$;

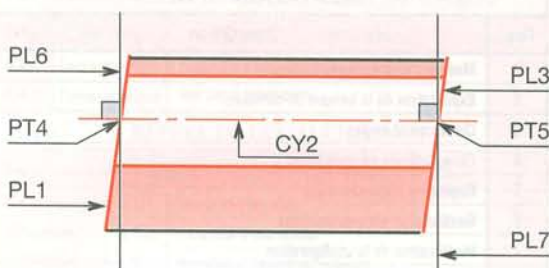
Défaut mesuré Df : $Df \leq t_a$; soit $0,024 < 0,15$.

VÉRIFICATION DES SPÉCIFICATIONS

Cas de la perpendicularité $t2 = 0,05$



CONSTRUCTION DES ÉLÉMENTS GÉOMÉTRIQUES



COMPTE RENDU DE MESURE						
N° Op.	Opérations	N° Él. Cote nom.	Nb. PT Tol. max.	Tol. min.	Df Résultats	Écarts
1	Palpeur Pa5	1,965			Df = 0,010 DO = 29,369	
2	Palpeur Pa3	1,834			Df = 0,014 DO = 29,369	
3	Plan mesuré	1	9		0,016	
4	Cylindre mesuré Diamètre	2 32,000	11 0,050	0,000	0,044 32,003	+ 0,003
5	Plan mesuré	3	7		0,004	
6	Point intersection CY2 / PL1	4			X = 98,181 Y = 57,556 Z = 13,393	
7	Point intersection CY2 / PL3	5			X = 93,254 Y = 84,334 Z = 13,453	
8	Plan perpendiculaire PT4 / CY2	6				
9	Plan perpendiculaire PT5 / CY2	7				
10	Ensemble de distances PL1 / PL6 Max Min Étendue				0,021 - 0,018 0,039	
11	Ensemble de distances PL3 / PL7 Max Min Étendue				0,010 - 0,009 0,019	
12	Ensemble de distances PL1 / PL3 Max Min Étendue				- 141,963 - 141,987 0,024	
13	Ensemble de distances PL3 / PL1 Max Min Étendue				- 141,964 - 141,985 0,021	

57.52

MÉTROLOGIE TRIDIMENSIONNELLE - MENUS (Logiciel MESTRID*)

MENU PRINCIPAL				Menu 3 CALCUL DES POSITIONS RELATIVES					
Rep.	Description			3 = 1 DISTANCES (suite)					
1	Mesure d'éléments géométriques			Rep.	Élément	Illustration			
2	Exploitation de la banque de données								
3	Distances et angles								
4	Constructions géométriques								
5	Repère de dégauchissage								
6	Gestion d'un plateau tournant								
7	Modification de la configuration								
8	Édition du procès verbal								
Menu 1 MESURE D'ÉLÉMENTS GÉOMÉTRIQUES				3 = 2 ANGLES					
Rep.	Élément	Illustration		3.2.1	Droite / droite		A : Angle droite / droite.		
1.1	Point (PT)		Le point PT1 est défini par ses coordonnées (X ₁ , Y ₁ , Z ₁).	3.2.2	Droite / plan		A : Angle droite / plan.		
1.2	Droite (DR)		DR2 : Droite équivalente**.	3.2.3	Plan / plan		A : Angle plan / plan.		
1.3	Plan (PL)		PL3 : Plan équivalent.	3 = 3 ENSEMBLE DE DISTANCES					
1.4.1	Cercle projeté (CP)		L'axe est perpendiculaire à P. Chaque point palpé est projeté sur P. Le plan P est préalablement mesuré ou construit. CP4 : Cercle projeté équivalent.	3.3.1	Surface / point		D : Distance surface PL1 / point PT2.		
1.4.2	Cercle non projeté (CE)		Le logiciel détermine le plan P passant par les points palpés. Les points sont projetés sur P et un cercle équivalent CE est obtenu.	3.3.2	Surface / droite		D : Ensemble de distances surface PL1 / droite DR2.		
1.5	Sphère (SP)		SP6 : Sphère équivalente.	3.3.3	Surface / plan		D : Ensemble de distances surface PL2 / plan PL1.		
1.6	Cylindre (CY)		1.6.1 : Axe ⊥ à un plan. 1.6.2 : Axe // à une droite. 1.6.3 : Axe // à un cylindre. 1.6.4 : Axe // à un cône. CY7 : Cylindre équivalent.	3.3.4	Droite / droite				
1.7	Cône (CO)		1.7.1 : Calcul de l'angle Â. 1.7.2 : Angle Â imposé. CO8 : Cône équivalent.	3.3.5	Droite / plan				
Menu 3 CALCUL DES POSITIONS RELATIVES				Menu 4 CONSTRUCTIONS GÉOMÉTRIQUES					
3 = 1 DISTANCES				4 = 1 CONSTRUCTION D'UN POINT					
3.1.1	Point / point		D : Distance point / point.	4.1.1	Milieu entre deux points		PT3 : Milieu entre deux points PT1 et PT2.		
				4.1.2	Point projeté sur une droite		PT3 : Projection de PT1 sur DR2.		
				4.1.3	Point projeté sur un plan		PT2 : Projection de PT1 sur PL2.		
				4.1.4	Intersection droite / droite		Le logiciel détermine la perpendiculaire commune à DR1 et DR2 et donne le point milieu PT3 de cette perpendiculaire. Il donne la longueur L de la perpendiculaire.		

* Métrolec, 93214 - La Plaine-Saint-Denis.

** Élément équivalent : voir § 57.2.

MÉTROLOGIE TRIDIMENSIONNELLE - MENUS (Logiciel MESTRID)

Menu 4 CONSTRUCTIONS GÉOMÉTRIQUES

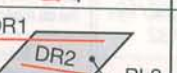
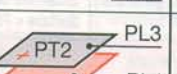
4.1 CONSTRUCTION D'UN POINT (suite)

Rep.	Élément	Illustration
4.1.5	Intersection droite - plan	 PT3 : Intersection de la droite DR1 avec le plan PL2.
4.1.6	Point théorique cartésien	 PT1 : Point théorique construit dans un repère de dégauchissage. PT1 (X = 90 ; Y = 50 ; Z = 0)

4.2 CONSTRUCTION D'UNE DROITE

4.2.1	Droite par n points*	 DR3 : Droite passant par les points PT1 et PT2.
4.2.2	Droite projetée sur un plan	 DR3 : Projection de la droite DR1 sur le plan PL2.
4.2.3	Perpendiculaire à un plan passant par un point	 DR3 : Droite perpendiculaire au plan PL1 et passant par le point PT2.
4.2.4	Perpendiculaire à une droite et passant par un point	 DR3 : Droite perpendiculaire à la droite DR1 et passant par le point PT2.
4.2.5	Parallèle à une droite et passant par un point	 DR3 : Droite parallèle à la droite DR1 et passant par le point PT2.
4.2.6	Intersection plan-plan	 DR3 : Droite intersection des plans PL1 et PL2.

4.3 CONSTRUCTION D'UN PLAN

4.3.1	Plan passant par n points	 PL4 : Plan passant par les points PT1, PT2, PT3.
4.3.2	Plan passant par un point et une droite	 PL3 : Plan passant par le point PT1 et la droite DR2.
4.3.3	Plan perpendiculaire à une droite et passant par un point	 PL3 : Plan perpendiculaire à la droite DR1 et passant par le point PT2.
4.3.4	Plan perpendiculaire à un plan et passant par une droite	 PL3 : Plan perpendiculaire au plan PL1 et passant par la droite DR2.
4.3.5	Plan parallèle à une droite et passant par une droite	 PL3 : Plan parallèle à la droite DR1 et passant par la droite DR2.
4.3.6	Plan parallèle à un plan et passant par un point	 PL3 : Plan parallèle au plan PL1 et passant par le point PT2.

4.4 CONSTRUCTION D'UN CERCLE PASSANT PAR N POINTS*

Rep.	Élément	Illustration
4.4.1	Cercle projeté	Analogie à la mesure d'un cercle, voir page précédente.
4.4.2	Cercle non projeté	

Menu 5 REPÈRE DE DÉGAUCHISSAGE

5.1 CRÉATION DU REPÈRE DE DÉGAUCHISSAGE

Direction primaire	5.1.1	Normale à un plan
	5.1.2	Parallèle à une droite
	5.1.3	Parallèle à l'axe d'un cylindre
	5.1.4	Parallèle à l'axe d'un cône
Direction secondaire	5.1.5	Parallèle à une droite
	5.1.6	Parallèle à l'axe d'un cylindre
	5.1.7	Parallèle à l'axe d'un cône
Point origine	5.1.8	Donner le numéro du point
Orientation	5.1.9	Donner le numéro du point dans le secteur**

5.2 FIN D'UTILISATION DU REPÈRE DE DÉGAUCHISSAGE

EXEMPLE D'UTILISATION DU REPÈRE DE DÉGAUCHISSAGE

Application

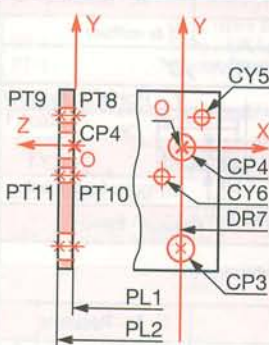


L'axe Y'Y passe par les projections des centres des alésages B et C sur le plan A. L'axe X'X passe par le centre de l'alésage B projeté sur le plan A et il est perpendiculaire à Y'Y.

Le point O est le centre de l'alésage B projeté sur le plan A.

Pour positionner les centres théoriques des alésages $\varnothing 10 H7$ liés au référentiel X'X, Y'Y de la pièce, l'opérateur doit créer au cours de sa gamme de mesurage un système d'axes appelé « repère de dégauchissage ».

Modèle géométrique Constructions



Palpage

Éléments palpés : PL1, PL2, CP3, CP4, CY5, CY6.

Constructions

DR7 : Droite passant par CP3 et CP4.
PT8, PT9 : Points intersections de CY5 avec PL1 et PL2.
PT10, PT11 : Points intersections de CY6 avec PL1 et PL2.

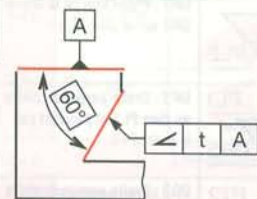
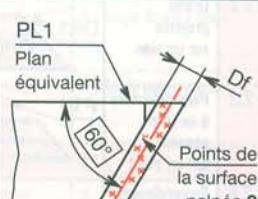
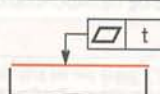
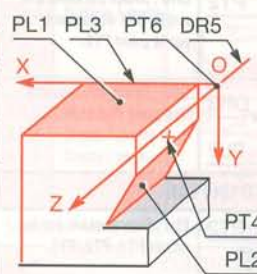
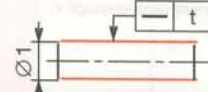
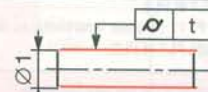
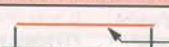
Repère de dégauchissage

Direction primaire : Z, $\perp$ à PL1.
Direction secondaire : Y, $\parallel$ à DR7.
Point d'origine : O, point CP4.
Point positif : PT9 (oriente le repère).
Les coordonnées X, Y, Z, des alésages sont relatives au repère de dégauchissage.

* Tous les points doivent être du même type, soit tous palpés, soit tous construits.

** Le point positif appartient au secteur positif du repère de dégauchissage, il est choisi de manière à l'orienter. Il peut être palpé ou construit.

57 ■ 53 SPÉCIFICATIONS DIMENSIONNELLES - DE FORME - D'ORIENTATION - DE POSITION

LONGUEUR L			CIRCULARITÉ Ø		
Application		Illustration	Application		Illustration
		PL1 L1 max Plan équivalent L1 min Points de la surface palpée 2 Df L2 min L2 max PL2 Plan équivalent			CE1 Cercle équivalent Points du cercle palpé 1 Df
Éléments géométriques		Palpage	Éléments géométriques		Palpage - Mesure
		Plans : PL1 et PL2.			Cercle : CE1.
Deux mesures sont effectuées, chaque plan équivalent étant alternativement pris comme référence.		Mesure de L (menu)	N° Opérations		Df - Résultats
		Ensemble de distances surface / plan.	1 Cercle mesuré CE1		Df de circularité
			2 Diamètre Ø		Ø
N° Opérations Df - Résultats			INCLINAISON <		
1	Ensemble de distances PL2 / PL1	Df = L1 max - L1 min			
2	Ensemble de distances PL1 / PL2	Df = L2 max - L2 min			
PLANÉITÉ **					
					
Éléments géométriques		Palpage - Mesure	Éléments géométriques		
		Plan : PL1.	Constructions		
N° Opérations		Df - Résultats			
1	Plan mesuré PL1	Df de planéité			
2	Ensemble de distances PL1 / PL1	Df de planéité	REMARQUE : La mesure du défaut d'inclinaison implique la construction d'un plan théorique PL8 incliné de 60° par rapport au plan équivalent PL1.		
RECTITUDE **					
		Points de la ligne palpée 1 DR1 Droite équivalente Df	Palpage		
Éléments géométriques		Palpage - Mesure	Plans : PL1, PL2, PL3. Point : PT4.		
		Droite : DR1.	Constructions		
N° Opérations		Df - Résultats	DR5 : Intersection PL1 / PL2. PT6 : Intersection DR5 / PL3.		
1	Droite mesurée DR1	Df de rectitude	Repère de dégauchissage		
CYLINDRICITÉ **			Direction principale : Y ⊥ à PL1. Direction secondaire : Z // à DR5. Axe X ⊥ à Y et Z. Origine O : Point PT6. Point positif : PT4 (oriente le repère).		
		Points du cylindre palpé 1 CY1 Cylindre équivalent Df	Constructions		
Éléments géométriques		Palpage - Mesure	PT7 : Point théorique construit dans le repère de dégauchissage (X = 10 ; Y = 17,32 ; Z = 0). PL8 : Plan passant par DR5 et PT7. Fin du repère de dégauchissage.		
		Cylindre : CY1.	Mesure < (menu)		
N° Opérations		Df - Résultats	Ensemble de distances surface / plan. Surface = PL2 - Plan = PL8.		
1	Cylindre mesuré CY1	Df de cylindricité	Le repère de dégauchissage a été utilisé pour définir le point PT7.		
N° Opérations Df - Résultats			N° Opérations Df - Résultats		
1	Cylindre mesuré CY1	Df de cylindricité	1	Ensemble de distances PL2 / PL8	Df d'inclinaison

* Défaut mesuré.

** La mesure des tolérances de forme est obtenue directement après palpage, sans l'utilisation d'un menu.

SPÉCIFICATIONS DIMENSIONNELLES - DE FORME - D'ORIENTATION - DE POSITION

PARALLÉLISME //

Application	Illustration
Éléments géométriques	Palpage
	Plans : PL1 et PL2.
	Mesure du parallélisme (menu*)
	Ensemble de distances surface / plan.

N°	Opérations	Df** - Résultats
1	Ensemble de distances PL2 / PL1	Df = d max - d min

PERPENDICULARITÉ ⊥ (d'une surface)

Application	Illustration
Éléments géométriques	Palpage
	Plans : PL1, PL2, PL3.
	Constructions
	DR4 : Droite intersection PL2 / PL3. PL5 : Plan ⊥ à PL1 passant par DR4.
	Mesure de la ⊥ (menu)
	Ensemble de distances surface / plan.

N°	Opérations	Df - Résultats
1	Ensemble de distances PL3 / PL5	Df de perpendicularité

PERPENDICULARITÉ ⊥ (d'un axe)

Application	Illustration
Éléments géométriques	Palpage
	Plans : PL1, PL2 - Cylindre : CY3.
	Constructions
	PT4 : Point intersection CY3 / PL1. DR5 : Droite ⊥ à PL1 passant par PT4. PT6 : Point intersection DR5 / PL2. PT7 : Point intersection CY3 / PL2.
	Mesure de la ⊥ (menu)
	Distance point / point.

N°	Opérations	Df - Résultats
1	Distance PT6 / PT7	Df/2 de perpendicularité

LOCALISATION

Application

Illustration

Éléments géométriques - Constructions

Palpage
Plans : PL1, PL2, PL3, PL4 - Point : PT5 - Cylindre : CY6.

Constructions
PT7 : Point intersection CY6 / PL1. PT8 : Point intersection CY6 / PL4. DR9 : Droite intersection PL1 / PL2. PT10 : Point intersection DR9 / PL3.

Repère de dégauchissage - Constructions
Direction primaire : Z perpendiculaire au plan PL1. Direction secondaire : X parallèle à la droite DR9. Axe Y ⊥ à X et Z. Point d'origine O : Point PT10. Point positif : PT5 (oriente le repère de dégauchissage). PT11 : Point théorique (X = 30, Y = 15, Z = 0). Fin du repère de dégauchissage. Droite ⊥ à PL1 passant par PT11. Point intersection DR12 / PL4.

Le repère de dégauchissage a été utilisé pour définir le point PT11.

Mesure de la localisation (menu)
Distance point / point. Il faut prendre en compte la distance point / point la plus grande (PT11 / PT7 ou PT8 / PT13) et la multiplier par 2.

N°	Opérations	Df - Résultats
1	Distance PT11 / PT7	Df/2 de ⊕
2	Distance PT8 / PT13	Df/2 de ⊕

* Les menus utilisés sont ceux du logiciel MESTRID (Métrolec).

** Df : Défaut d'orientation ou de position.

SPÉCIFICATIONS DIMENSIONNELLES - DE FORME - D'ORIENTATION - DE POSITION

COAXIALITÉ $\odot$			SYMÉTRIE $\equiv$		
Application	Illustration		Application		
Éléments géométriques Constructions					
	Palpage Plans : PL3, PL4 - Cylindres : CY1, CY2. Constructions PT5 : Intersection CY1 / PL4. PT6 : Intersection CY1 / PL3. PT7 : Intersection CY2 / PL4. PT8 : Intersection CY2 / PL3. Mesure de la coaxialité (menu*) Distance point / point.		PL17 Plan construit passant par DR11 et PT16 PL4 Plan équivalent PT15 PT16 Point milieu de PT14 - PT15 DR11 Droite intersection PL3 / PL4 CY7 Axe du cylindre équivalent PL3 Plan équivalent		
REMARQUE : Il faut prendre en compte la distance la plus grande, PT6 / PT8 ou PT5 / PT7, et la multiplier par 2.					
N°	Opérations	Df** - Résultats			
1	Distance PT6 / PT8	Df/2 de coaxialité			
2	Distance PT5 / PT7	Df/2 de coaxialité			
CONCENTRICITÉ $\odot$					
Application	Illustration				
Éléments géométriques Constructions					
	Palpage Plans : PL1. Cercle : CP2. Cercle : CP3. Mesure de la concentricité (menu) Distance point / point.		PL17 Plan de symétrie des plans PL3 et PL4 DR10 droite construite (axe CY7 limité à la hauteur de la pièce) Df/2 Défaut de symétrie / 2		
N°	Opérations	Df - Résultats	N°	Opérations	Df - Résultats
1	Distance CP3 / CP2	Df/2 de concentricité	1	Ensemble de distances DR10 / PL17	Df/2 de symétrie

* Les menus utilisés sont ceux du logiciel MESTRID (Métrolec).

** Df : Défaut de position.

58 Vérification dimensionnelle

Une bonne vérification des pièces est fonction de nombreux paramètres, notamment :

- l'interprétation correcte des spécifications de cotation et de tolérancement, en particulier la distinction entre le principe de l'enveloppe et le principe de l'indépendance (G.D. 18).
- Le choix judicieux des moyens de vérification en fonction de la

précision exigée, du nombre de pièces, des dimensions, de la masse, du volume...

- Une déformation minimale des pièces par une mise en position et un maintien adaptés.

On doit avoir entre l'incertitude de mesure i et la tolérance t :

$$i \leq \pm t/8.$$

$$\text{Si } IT \leq 5 \text{ (G. D. 14.24) } i \leq \pm t/4.$$

58.1

PRINCIPAUX MATÉRIELS DE MESURE ET DE CONTRÔLE

CALES ÉTALONS



Nb	Épaisseurs	Nb	Épaisseurs
9	1,001 à 1,009	4	1,6 à 1,9
9	1,01 à 1,09	19	0,5 à 9,5
40	1,1 à 1,49	10	10 à 100

TAMPONS LISSES DOUBLES

De 0,75
à 150 mm



JAUGES PLATES DOUBLES

De 4
à 130 mm



CALIBRES À MÂCHOIRES RÉGLABLES

11 calibres
pour cotes
de 0 à 101,5



MICROMÈTRES



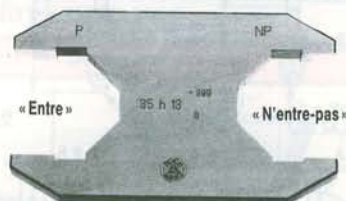
Lecture au 1/1000 mm

Capacité

0-25	75-100	150-175	225-250
25-50	100-125	175-200	250-275
50-75	125-150	200-225	275-300

CALIBRES À MÂCHOIRES À L'OPPOSÉ

De 4
à 100 mm



CALIBRES À MÂCHOIRES



De 4 à 500 mm

SIMPLES BAGUES LISSES



- Par jeu de 2 bagues :
- une bague « entre »,
- une bague « n'entre pas ».

De 2 à 300 mm

TAMPONS ET BAGUES FILETÉS



les bagues filetées sont utilisées par jeu de 2 bagues, une bague « entre » et une bague « n'entre pas ».

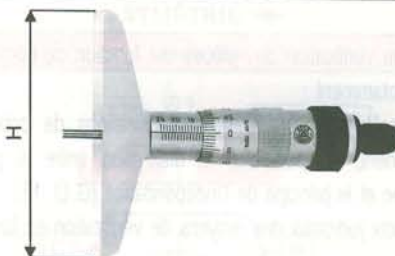
De M2 à M68

MICROMÈTRES D'ALÉSAGES

De 6
à 300 m



JAUGES MICROMÉTRIQUES DE PROFONDEUR



De 0 à 300 mm - H = 80 ou 100

COMPARATEURS MÉCANIQUES À CADRAN

Résolution 0,01 mm

Diamètre du cadran	60
Force de mesure	1 N
Course	10 et 15

Résolution 0,001 mm

Diamètre du cadran	57
Force de mesure	1 N
Course	1

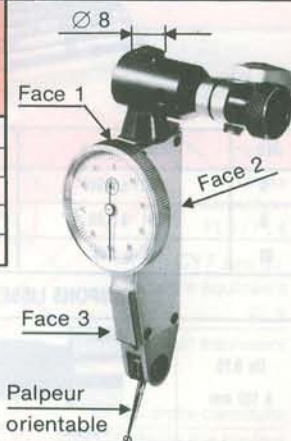


Ø 8 h6
(pour fixation)

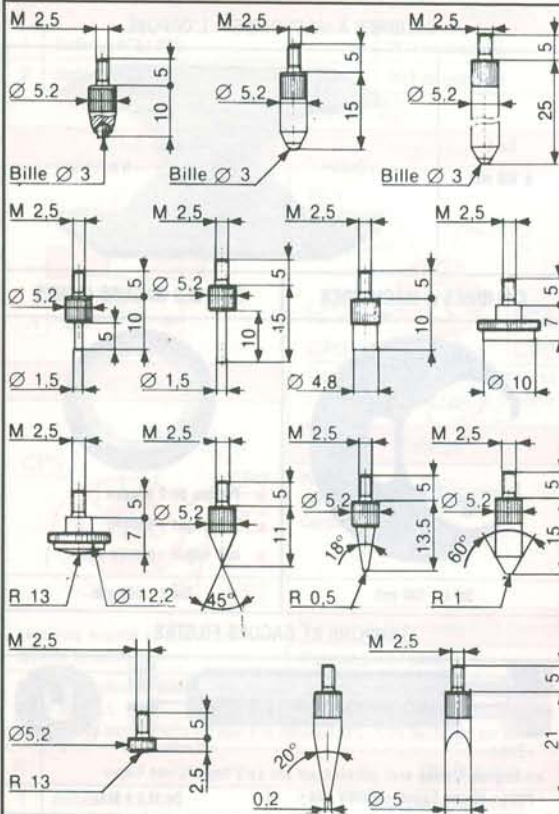
Touche
amovible

COMPARATEURS À LEVIER

Résolution	Course dans chaque sens	Diamètre du cadran	Longueur du palpeur
0,01	0,8	28	12,5
0,01	0,8	38	12,5
0,01	0,5	38	36,5
0,002	0,2	28	12,5
0,002	0,2	38	12,5



DIFFÉRENTES FORMES DE TOUCHES



COMPARATEURS ÉLECTRONIQUES À CADRAN

Résolution 0.01 mm

Course	10
Précision	$\pm 0,02$
Répétabilité	$\pm 0,01$
Force de mesure	1,5 N
Autonomie	~ 7500 h
Diamètre du cadran	$\varnothing 60$
Hauteur totale	113
Épaisseur	21,5



Function	Signification
Normal	Utilisation habituelle Zéro flottant.
Stop	Protection de la cote de départ.
GO	Libère ou fige la cote affichée.
Max	Figé un point haut (bosse).
Min	Figé un point bas (creux).

NOTA :
Associé à un système de M.A.O.*
permet un traitement statistique du
mesurage :

- calcul de la moyenne,
- étendue,
- écart type,
- histogramme.

58.3 Vérificateurs spéciaux

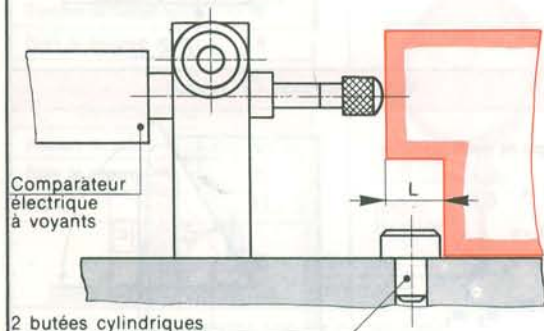
Ils sont utilisés pour des travaux de série. On distingue :

- les vérificateurs à limites «entre» et «n'entre pas» ou contrôleurs (ils vérifient que la pièce est dans les tolérances),
- les vérificateurs à lecture de dimensions ou mesureurs (ils indiquent la valeur des écarts).

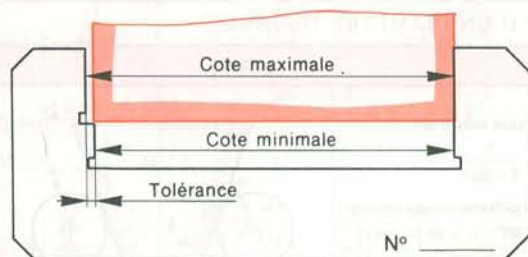
MONTAGE DE MESURE



MONTAGE DE CONTRÔLE*

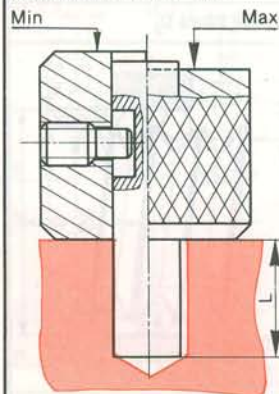


CALIBRE DE CONTRÔLE

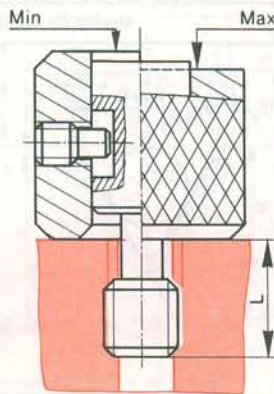


JAUGE DE CONTRÔLE

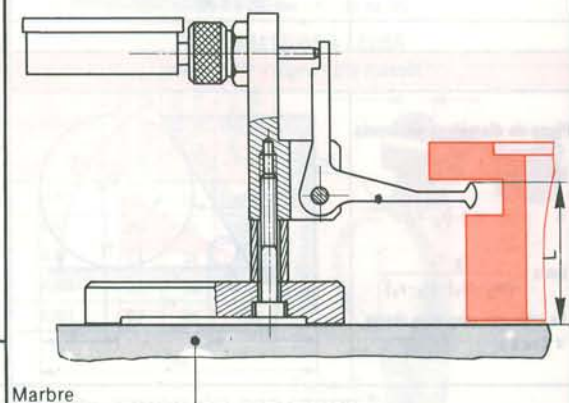
Profondeur de trou lisse



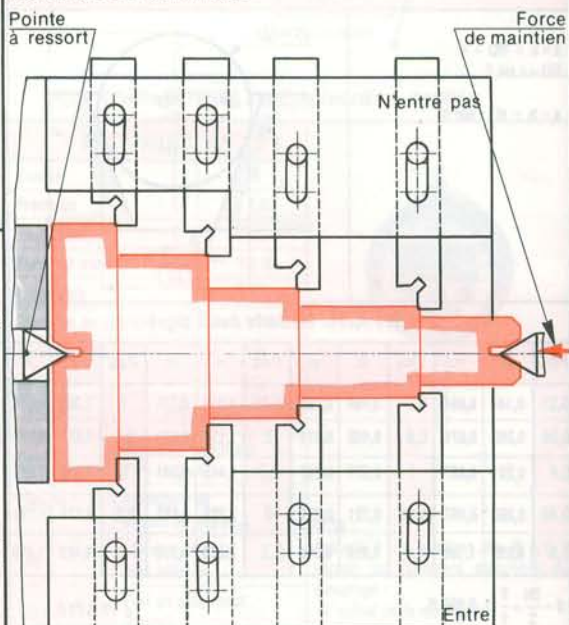
Profondeur de trou taraudé



MONTAGE DE MESURE*



MONTAGE DE CONTRÔLE

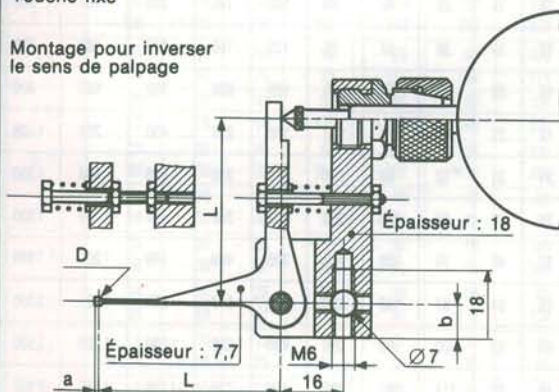


* Les comparateurs sont étalonnés au préalable à l'aide de cales ou de pièces étalons.

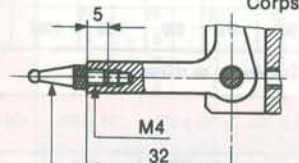
EXEMPLES DE RENVOIS D'ANGLES

ARTICULATION CYLINDRIQUE

Touche fixe

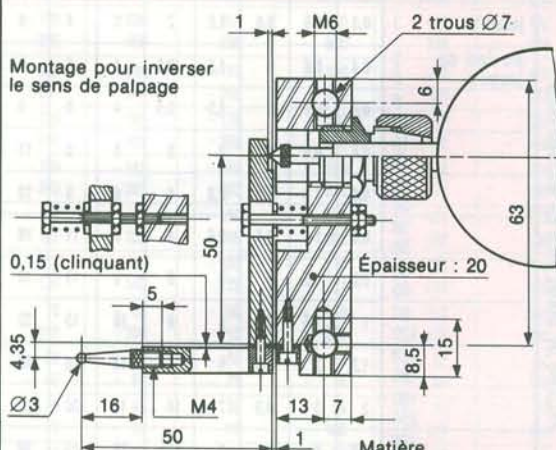
Montage pour inverser
le sens de palpé

Touche interchangeable

Matière :
Corps et levier : XC 48 bruniTouche interchangeable
suivant besoin

L	D	a	b
48	3	1	8
70	8	1,5	10

ARTICULATION ÉLASTIQUE SANS JEU RENVOI À 90°

Montage pour inverser
le sens de palpé

RENGOI À 180°

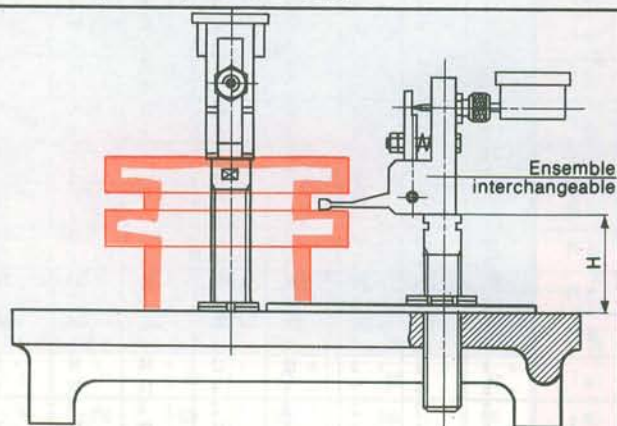
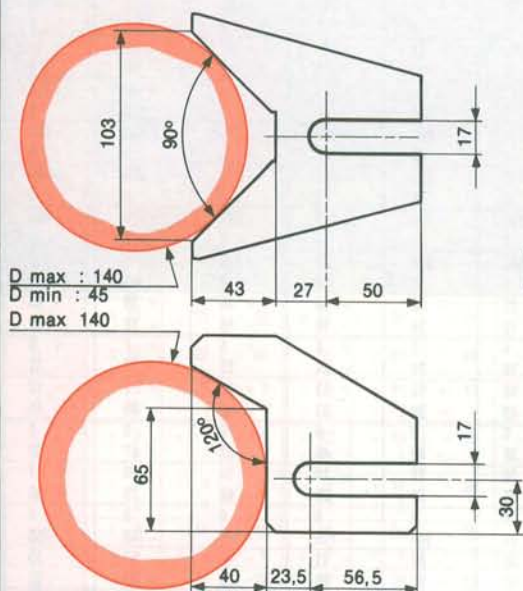
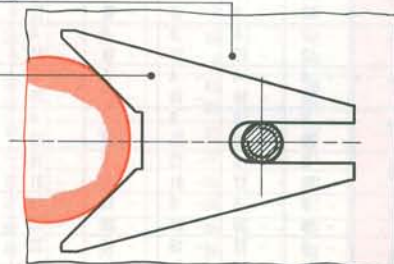
Matière
Corps : 2017 (A-U4G)
Lever : XC 48

Articulation à lame élastique

Touche interchangeable
suivant besoin

MARBRES À POTENCES à un ou plusieurs postes de vérification

Calibres standards

Dimensions table :
A x BCalibre de
mise en
position

H	25-60	60-95	95-130	130-165
AxB	200 x 250	250 x 350		

Fabrication : Nlm.

58.4

TOLÉRANCES FONDAMENTALES IT EN MICROMÈTRES

QUALITÉ		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PALIERS DE DIAMÈTRES EN MILLIMÈTRES	jusqu'à 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	80	100	140	250	400	600
	au-delà de 3 jusqu'à 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
	6 à 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
	10 à 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
	18 à 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
	30 à 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
	50 à 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
	80 à 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
	120 à 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
	180 à 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
	250 à 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
	315 à 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600

PRINCIPAUX ÉCARTS EN MICROMÈTRES

Température de référence : 20 °C

ALÈSAGES	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
D 10	+ 60 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+ 120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 100	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190	+ 440 + 210	+ 480 + 230
F 7	+ 16 + 6	+ 22 + 10	+ 28 + 13	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56	+ 119 + 62	+ 131 + 68
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 + 20
H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0
H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 63 0
H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0
H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0	+ 155 0
H 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0	+ 230 0	+ 250 0
H 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0	+ 400 0
H 12	+ 100 0	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 300 0	+ 350 0	+ 400 0	+ 460 0	+ 520 0	+ 570 0	+ 630 0
H 13	+ 140 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 270 0	+ 330 0	+ 390 0	+ 460 0	+ 540 0	+ 630 0	+ 720 0	+ 810 0	+ 890 0	+ 970 0
J 7	+ 4 - 6	+ 6 - 6	+ 8 - 7	+ 10 - 8	+ 12 - 9	+ 14 - 11	+ 18 - 12	+ 22 - 13	+ 26 - 14	+ 30 - 16	+ 36 - 16	+ 39 - 18	+ 43 - 20
K 6	0 - 6	+ 2 - 6	+ 2 - 7	+ 2 - 9	+ 2 - 11	+ 3 - 13	+ 4 - 15	+ 4 - 18	+ 4 - 21	+ 5 - 24	+ 5 - 27	+ 7 - 29	+ 8 - 32
K 7	0 - 10	+ 3 - 9	+ 5 - 10	+ 6 - 12	+ 6 - 15	+ 7 - 18	+ 9 - 21	+ 10 - 25	+ 12 - 28	+ 13 - 33	+ 16 - 36	+ 17 - 40	+ 18 - 45
M 7	- 2 - 12	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63
N 7	- 4 - 14	- 4 - 16	- 4 - 19	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33	- 9 - 39	- 10 - 45	- 12 - 52	- 14 - 60	- 14 - 66	- 16 - 73	- 17 - 80
N 9	- 4 - 29	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
P 6	- 6 - 12	- 9 - 17	- 12 - 21	- 15 - 26	- 18 - 31	- 21 - 37	- 26 - 45	- 30 - 52	- 36 - 61	- 41 - 70	- 47 - 79	- 51 - 87	- 55 - 95
P 7	- 6 - 16	- 8 - 20	- 9 - 24	- 11 - 29	- 14 - 35	- 17 - 42	- 21 - 51	- 24 - 59	- 28 - 68	- 33 - 79	- 36 - 88	- 41 - 98	- 45 - 108
P 9	- 9 - 31	- 12 - 42	- 15 - 51	- 18 - 61	- 22 - 74	- 26 - 88	- 32 - 106	- 37 - 124	- 43 - 143	- 50 - 165	- 56 - 186	- 62 - 202	- 68 - 223

* JS = js (voir tableau page suivante = IT/2).

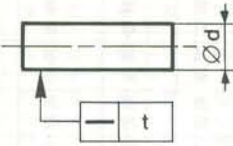
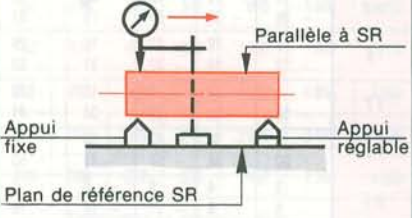
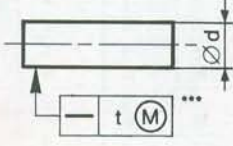
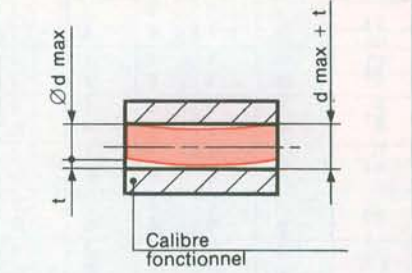
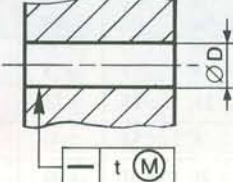
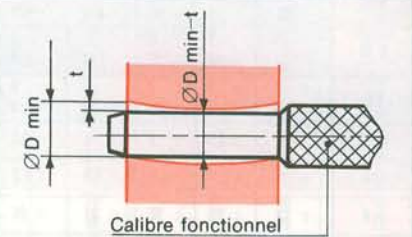
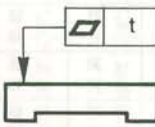
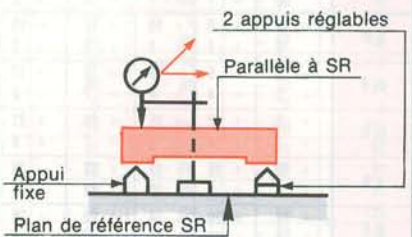
ARBRES	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
a 11	-270 -330	-270 -345	-280 -370	-290 -400	-300 -430	-320 -470	-360 -530	-410 -600	-580 -710	-820 -950	-1050 -1240	-1350 -1560	-1650 -1900
c 11	-60 -120	-70 -145	-80 -170	-95 -205	-110 -240	-130 -280	-150 -330	-180 -390	-230 -450	-280 -530	-330 -620	-400 -720	-480 -840
d 9	-20 -45	-30 -60	-40 -75	-50 -93	-65 -117	-80 -142	-100 -174	-120 -207	-145 -245	-170 -285	-190 -320	-210 -350	-230 -385
d 10	-20 -60	-30 -78	-40 -98	-50 -120	-65 -149	-80 -180	-100 -220	-120 -250	-145 -305	-170 -355	-190 -400	-210 -440	-230 -480
d 11	-20 -80	-30 -105	-40 -130	-50 -160	-65 -195	-80 -240	-100 -290	-120 -340	-145 -395	-170 -460	-190 -510	-210 -570	-230 -630
e 7	-14 -24	-20 -32	-25 -40	-32 -50	-40 -61	-50 -75	-60 -90	-72 -107	-85 -125	-100 -146	-110 -162	-125 -182	-135 -198
e 8	-14 -28	-20 -38	-25 -47	-32 -59	-40 -73	-50 -89	-60 -106	-72 -126	-85 -148	-100 -172	-110 -191	-125 -214	-135 -232
e 9	-14 -39	-20 -50	-25 -61	-32 -75	-40 -92	-50 -112	-60 -134	-72 -159	-85 -185	-100 -215	-110 -240	-125 -265	-135 -290
f 6	-6 -12	-10 -18	-13 -22	-16 -27	-20 -33	-25 -41	-30 -49	-36 -58	-43 -68	-50 -79	-56 -88	-62 -98	-68 -108
f 7	-6 -16	-10 -22	-13 -28	-16 -34	-20 -41	-25 -50	-30 -60	-36 -71	-43 -83	-50 -96	-56 -106	-62 -119	-68 -131
f 8	-6 -20	-10 -28	-13 -35	-16 -43	-20 -53	-25 -64	-30 -76	-36 -90	-43 -106	-50 -122	-56 -137	-62 -151	-68 -165
g 5	-2 -6	-4 -9	-5 -11	-6 -14	-7 -16	-9 -20	-10 -23	-12 -27	-14 -32	-15 -35	-17 -40	-18 -43	-20 -47
g 6	-2 -8	-4 -12	-5 -14	-6 -17	-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -44	-17 -49	-18 -54	-20 -60
h 5	0 -4	0 -5	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	0 -23	0 -25	0 -27
h 6	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29	0 -32	0 -36	0 -40
h 7	0 -10	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57	0 -63
h 8	0 -14	0 -18	0 -22	0 -27	0 -33	0 -39	0 -46	0 -54	0 -63	0 -72	0 -81	0 -89	0 -97
h 9	0 -25	0 -30	0 -36	0 -43	0 -52	0 -62	0 -74	0 -87	0 -100	0 -115	0 -130	0 -140	0 -155
h 10	0 -40	0 -48	0 -58	0 -70	0 -84	0 -100	0 -120	0 -140	0 -160	0 -185	0 -210	0 -230	0 -250
h 11	0 -60	0 -75	0 -90	0 -110	0 -130	0 -160	0 -190	0 -220	0 -250	0 -290	0 -320	0 -360	0 -400
h 13	0 -140	0 -180	0 -220	0 -270	0 -330	0 -390	0 -460	0 -540	0 -630	0 -720	0 -810	0 -890	0 -970
j 6	+4 -2	+6 -2	+7 -2	+8 -3	+9 -4	+11 -5	+12 -7	+13 -9	+14 -11	+16 -13	+16 -16	+18 -18	+20 -20
js 5	± 2	± 2,5	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 7,5	± 9	± 10	± 11,5	± 12,5	± 13,5
js 6	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 8	± 9,5	± 11	± 12,5	± 14,5	± 16	± 18	± 20
js 9	± 12	± 15	± 18	± 21	± 26	± 31	± 37	± 43	± 50	± 57	± 65	± 70	± 77
js 11	± 30	± 37	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160	± 180	± 200
k 5	+4 0	+6 +1	+7 +1	+9 +1	+11 +2	+13 +2	+15 +2	+18 +3	+21 +3	+24 +4	+27 +4	+29 +4	+32 +5
k 6	+6 0	+9 +1	+10 +1	+12 +1	+15 +2	+18 +2	+21 +2	+25 +3	+28 +3	+33 +4	+36 +4	+40 +4	+45 +5
m 5	+6 +2	+9 +4	+12 +6	+15 +7	+17 +8	+20 +9	+24 +11	+28 +13	+33 +15	+37 +17	+43 +20	+46 +21	+50 +23
m 6	+8 +2	+12 +4	+15 +6	+18 +7	+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	+52 +20	+57 +21	+63 +23
n 6	+10 +4	+16 +8	+19 +10	+23 +12	+28 +15	+33 +17	+39 +20	+45 +23	+52 +27	+60 +31	+66 +34	+73 +37	+80 +40
p 6	+12 +6	+20 +12	+24 +15	+29 +18	+35 +22	+42 +26	+51 +32	+59 +37	+68 +43	+79 +50	+88 +56	+98 +62	+108 +68

59 Vérifications géométriques*

Ce chapitre indique, pour des tolérances de forme et de positions spécifiées sur un dessin de définition de produit fini, une méthode de vérification. Les solutions données sont indicatives et comportent de nombreuses variantes technologiques, notamment en fonction de la précision exigée et du nombre de pièces à vérifier.

REMARQUES :

- On effectue d'abord la vérification dimensionnelle puis la vérification des formes et des positions.
- L'application du principe du maximum de matière** conduit aux produits les moins chers.

RECTITUDE		
Tolérance		
Une génératrice doit rester comprise entre deux droites distantes de t .		
Contrôle		
Déplacer le comparateur le long de la génératrice. Écart maximal toléré : t . Répéter la mesure sur n génératrices (minimum 3).		
Tolérance		
La tolérance de rectitude a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de rectitude le plus grand (volume $\varnothing d \text{ max} + t$). Si la pièce n'est pas dans cet état, elle doit rester inscrite dans le même volume.		
Contrôle		
La pièce doit passer dans le calibre fonctionnel.		
Tolérance		
La tolérance de rectitude a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de rectitude le plus grand (volume $\varnothing D \text{ min} - t$). Si la pièce n'est pas dans cet état, elle doit rester circonscrite au même volume.		
Contrôle		
Le calibre fonctionnel doit passer dans la pièce.		
PLANÉITÉ		
Tolérance		
La surface doit être comprise entre deux plans distants de t .		
Contrôle		
Déplacer le comparateur sur toute la surface. Écart maximal toléré : t .		

* Tolérances géométriques G.D.17.

** Principe du maximum de matière G.D.22.

*** Calcul des tolérances de position G.D. 22.

CIRCULARITÉ

Tolérance

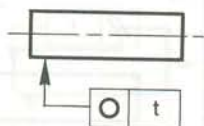
Le profil de chaque section droite doit être compris entre deux circonférences concentriques dont les rayons diffèrent de t . La circonférence extérieure est la plus petite circonférence circonscrite.

Contrôle I

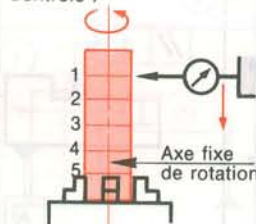
Appareil de mesure de la variation d'un rayon autour d'un centre fixe.
Écart maximal toléré : t .

Contrôle II (contrôle approché)

La pièce effectue une rotation complète.
Écart maximal par section : $2t$.
Afin de réduire l'influence des défauts de forme, il est conseillé d'effectuer deux fois cette mesure : l'une avec un vé à 90° , l'autre avec un vé à 120° .

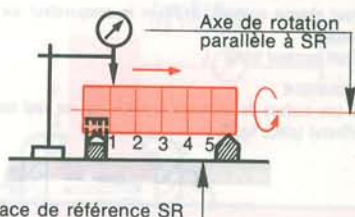
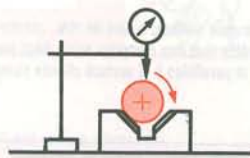


Contrôle I



Machine à mesurer*

Contrôle II



Surface de référence SR

CYLINDRICITÉ

Tolérance

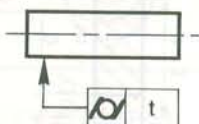
La surface doit être comprise entre deux cylindres coaxiaux dont les rayons diffèrent de t .

Contrôle I

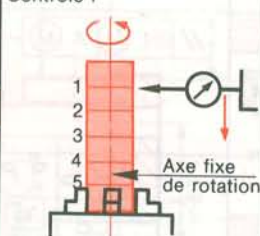
Appareil de mesure de la variation d'un rayon autour d'un axe fixe.
Écart maximal toléré : t .

Contrôle II (contrôle approché)

Relever les déviations pendant une rotation complète sur n sections.
Écart maximal entre tous les points des sections : $2t$.
Afin de réduire l'influence des défauts de forme, il est conseillé d'effectuer deux fois cette mesure : l'une avec un vé à 90° , l'autre avec un vé à 120° .

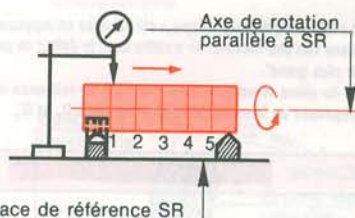
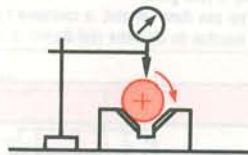


Contrôle I



Machine à mesurer*

Contrôle II



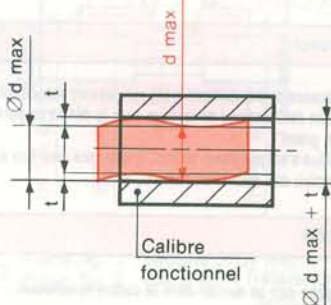
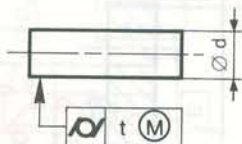
Surface de référence SR

Tolérance

La tolérance de cylindricité a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de cylindricité le plus grand (volume $\varnothing d_{\max} + t$).
Si la pièce n'est pas dans cet état, elle doit rester inscrite dans le même volume.

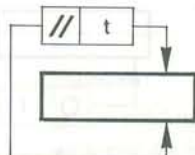
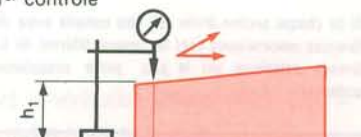
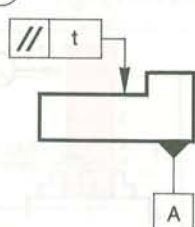
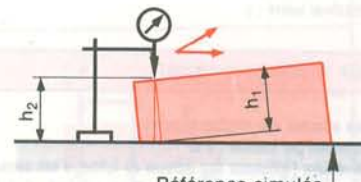
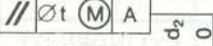
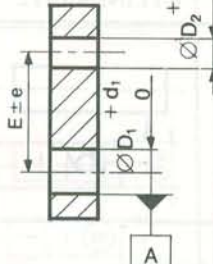
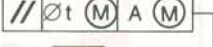
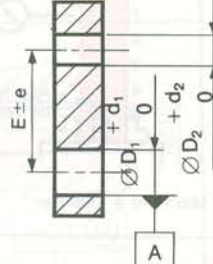
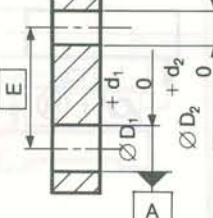
Contrôle

La pièce doit passer dans le calibre fonctionnel.



* Tolérance de coaxialité de la machine « Formtester » $0,07 \mu\text{m}$.

PARALLÉLISME

Tolérance (fig. 1) En prenant chaque surface, à tour de rôle, comme référence, la surface contrôlée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de t et parallèles à la surface choisie comme référence.	1 2 contrôles 	Pièce figure 1 1^{er} contrôle  Référence simulée
Contrôle Pour chaque contrôle, déplacer le comparateur sur toute la surface. Écart maximal toléré : t. REMARQUE : Si une surface de référence est indiquée, un seul contrôle est effectué (pièce fig. 2).	2 1 contrôle 	2^e contrôle  Référence simulée
Tolérance La tolérance de parallélisme a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de parallélisme le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction du diamètre réel D_2.	 	Ne pas « bloquer » Broche de contrôle Référence simulée (expansible § 24.4) $\varnothing D_2 \text{ min} - t$ H 7/h6 Calibre fonctionnel Pièce coulissante
Tolérance La tolérance de parallélisme a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de parallélisme le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction des diamètres réels D_2 et D_1.	 	Broche de contrôle $\varnothing D_1 \text{ min}$ $\varnothing D_2 \text{ min} - t$ (H 7/h 6) Calibre fonctionnel
Tolérance La tolérance de parallélisme a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de parallélisme le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance peut être dépassée en fonction des diamètres réels D_2 et D_1.	 	Broche de contrôle $\varnothing D_1 \text{ min}$ $\varnothing D_2 \text{ min} - t$ 3 touches (H 7/h6) Calibre fonctionnel

* Principe du maximum de matière, voir G.D. 22.

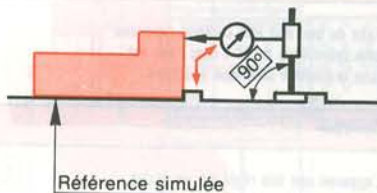
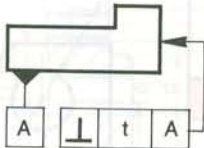
PERPENDICULARITÉ ET INCLINAISON

Tolérance

La surface tolérancée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de t et perpendiculaires à la surface de référence A.

Contrôle

Déplacer le comparateur sur toute la surface.
Écart maximal toléré : t .

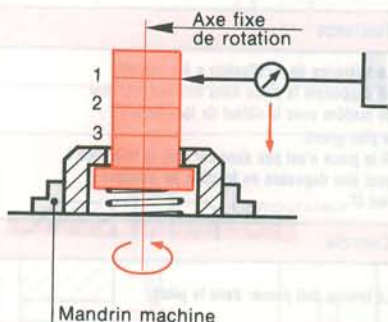
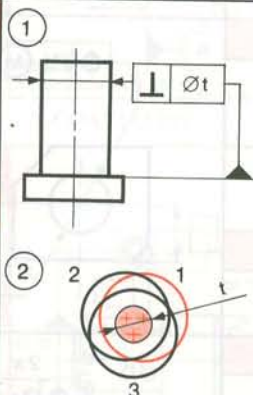


Tolérance

L'axe du cylindre tolérancé doit être compris dans une zone cylindrique de $\varnothing t$ perpendiculaire à la surface de référence.

Contrôle

Relever en position, sur un même document, les écarts pendant une rotation complète sur n sections.
Les centres de toutes les sections doivent être à l'intérieur d'un cercle de $\varnothing t$ (fig. 2).



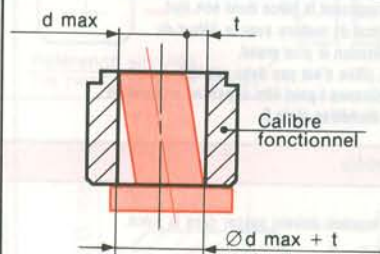
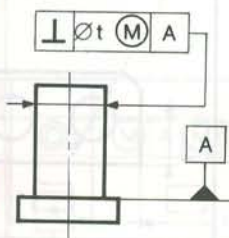
Machine à mesurer

Tolérance

La tolérance de perpendicularité a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de perpendicularité le plus grand (volume $d_{\max} + t$). Si la pièce n'est pas dans cet état, elle doit rester inscrite dans le même volume.

Contrôle

La pièce doit pouvoir être en appui sur A.



Tolérance (fig. 1)

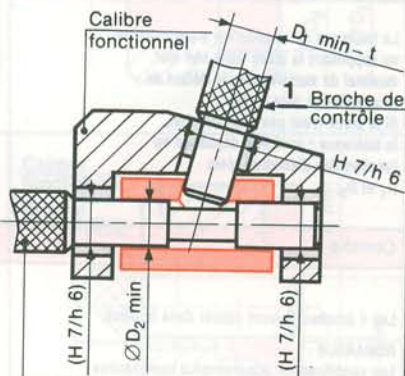
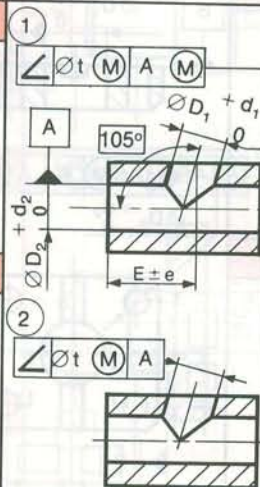
La tolérance de perpendicularité a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de perpendicularité le plus grand (volume $d_{\max} + t$). Si la pièce n'est pas dans son état, la tolérance t peut être dépassée en fonction des diamètres réels D_1 et D_2 .

Contrôle

La broche de contrôle doit passer dans la pièce.

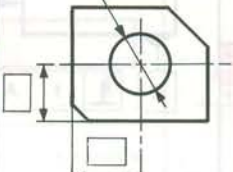
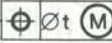
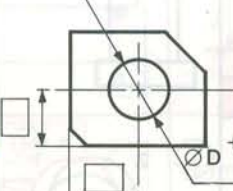
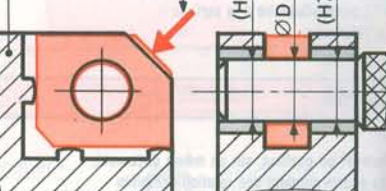
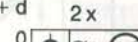
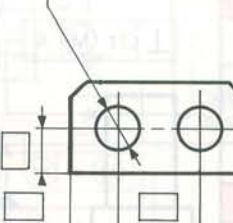
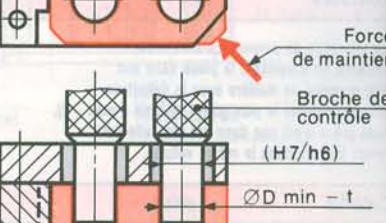
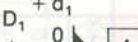
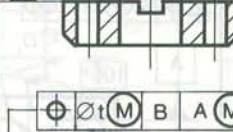
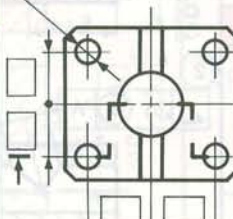
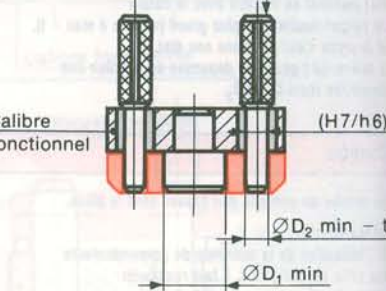
REMARQUE :

Si l'indication de la tolérance de perpendicularité est celle de la figure 2, il faut remplacer la broche 2 par un expansible (la pièce doit rester coulissante, ne pas bloquer).



2 Pièce fig. 1 : Broche $\varnothing D_2$ min.
2 Pièce fig. 2 : Expansible (référence simulée).

LOCALISATION

Tolérance		
L'axe du trou doit être compris dans une zone cylindrique de $\varnothing t$ dont l'axe est dans la position théorique spécifiée.		Tournant autour d'un axe de rotation fixe  Références simulées
Contrôle		
L'appareil une fois réglé sur un étalon, faire effectuer une rotation complète au comparateur (on peut mesurer plusieurs sections). Écart maximal toléré : t.		
Tolérance		
La tolérance de localisation a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de localisation le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction du diamètre réel D'.		Force de maintien Calibre fonctionnel  $(H7/h6)$ $\varnothing D \text{ min} - t$ $(H7/h6)$
Contrôle		
La broche doit passer dans la pièce.		
Tolérance		
La tolérance de localisation a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de localisation le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction des diamètres réels D.		Calibre fonctionnel  Force de maintien Broche de contrôle $(H7/h6)$ $\varnothing D \text{ min} - t$
Contrôle		
Les broches doivent passer dans la pièce.		
Tolérance		
La tolérance de localisation a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de localisation le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction des diamètres réels D_1 et D_2.	 $\varnothing D_1 + d_1$ $\varnothing D_2 + d_2$ 	Broche de contrôle  Calibre fonctionnel $(H7/h6)$ $\varnothing D_2 \text{ min} - t$ $\varnothing D_1 \text{ min}$
Contrôle		
Les 4 broches doivent passer dans la pièce. REMARQUE : Les spécifications apparemment compliquées impliquent souvent les contrôles les plus simples. Système de références : voir G.D. 17.3.		

* Principe maximum de matière, voir G.D. 22.

Tolérance

La zone de...
ment en utili...
jetée, symb...
La tolérance...
en supposan...
de matière...
le plus gran...
état, la tolér...
fonction du...

Contrôle

La pièce n...
être possi...

Tolérance

L'axe du...
compris c...
coaxiale

Contrôle

Le centre...
être dans...
 $\varnothing D_1$, R...
NOTA :
Écart ma...
Le contr...
le centre

Tolérance

La tolér...
suppos...
matière...
grand. S...
tolérance...
diamètre

Contrôle

La pièce...

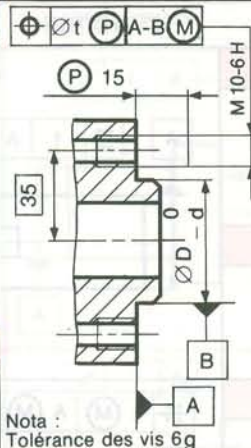
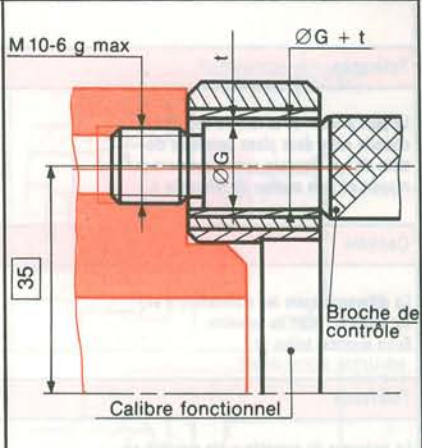
Tolérance

La tolér...
suppo...
matière...
grand...
toléranc...
diamètre

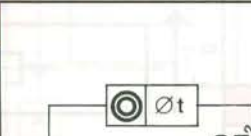
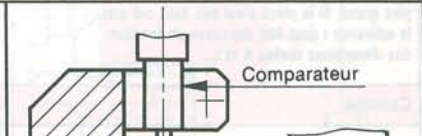
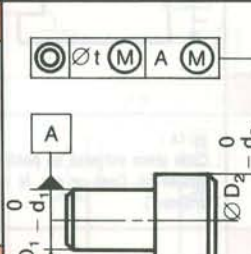
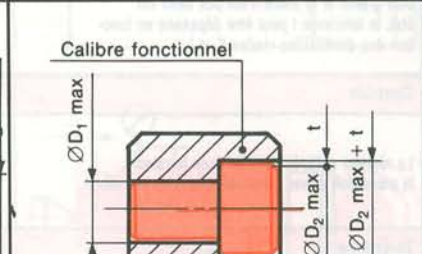
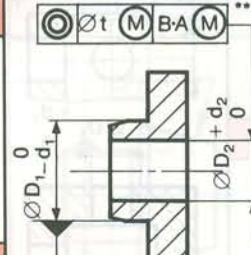
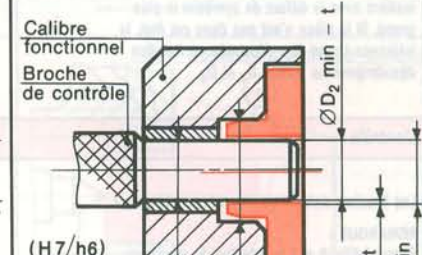
Contrôle

La br...

* Voir

Tolérance La zone de tolérance est exprimée directement en utilisant la zone de tolérance projetée, symbole P*. La tolérance de localisation a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de localisation le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction du diamètre réel de la surface B.	 Nota : Tolérance des vis 6g	 Calibre fonctionnel Broche de contrôle
Contrôle La pièce montée dans le calibre, il doit être possible de visser toutes les broches		

COAXIALITÉ

Tolérance L'axe du cylindre de $\varnothing D_2$ doit être compris dans une zone cylindrique de $\varnothing t$ coaxiale à l'axe du cylindre de référence D_1.		 Comparateur Référence simulée (ne pas bloquer la pince)
Contrôle Le centre de la section mesurée doit être dans un cercle de $\varnothing t$ concentrique au $\varnothing D_1$. Répéter la mesure sur plusieurs sections. NOTA : Écart maximal de mesure : t. Le contrôle nécessite un relevé afin de déterminer le centre du cercle circonscrit à la section mesurée.		
Tolérance La tolérance de coaxialité a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de coaxialité le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction des diamètres réels D_1 et D_2.		 Calibre fonctionnel $\varnothing D_1 \text{ max}$ $\varnothing D_2 \text{ max} + t$
Contrôle La pièce doit entrer dans le calibre fonctionnel.		
Tolérance La tolérance de coaxialité a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de coaxialité le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction des diamètres réels D_1 et D_2.		 Calibre fonctionnel Broche de contrôle $\varnothing D_1 \text{ max}$ $\varnothing D_2 \text{ min} - t$
Contrôle La broche doit entrer dans la pièce.		(H7/h6) $\varnothing D_2 \text{ min}$

* Voir G.D. 22-32. ** Référence définie par plusieurs éléments, voir G.D. 17.3.

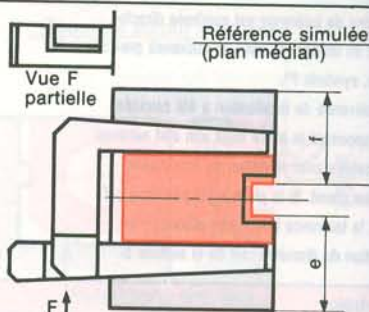
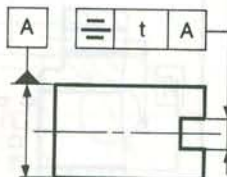
SYMÉTRIE

Tolérance

Le plan médian de la rainure doit être compris entre deux plans parallèles distants de t et disposés symétriquement par rapport au plan médian de référence A.

Contrôle

La différence entre les dimensions e et f est égale à l'écart de symétrie.
Écart maximal toléré : t .

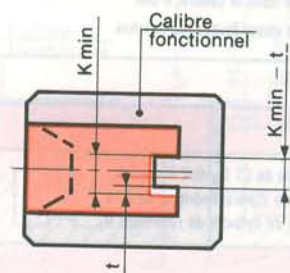
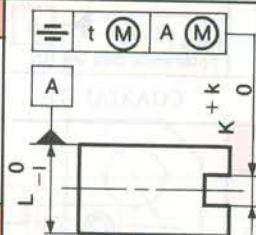


Tolérance

La tolérance de symétrie a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de symétrie le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction des dimensions réelles K et L .

Contrôle

La pièce doit entrer dans le calibre fonctionnel.

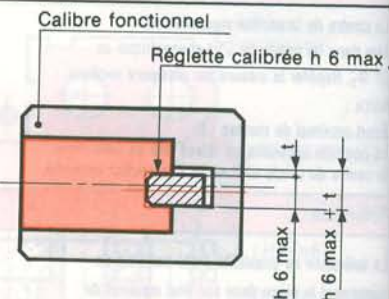
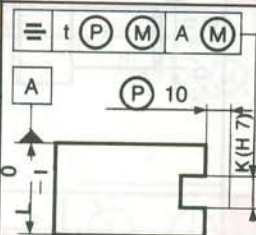


Tolérance

La zone de tolérance est exprimée directement en utilisant la zone de tolérance projetée, symbole P'.
La tolérance de symétrie a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de symétrie le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction des dimensions réelles K et L .

Contrôle

La règle calibre montée dans la rainure, la pièce doit entrer complètement dans le calibre.



NOTA :

Cette pièce est mise en position par rapport à une autre pièce par l'intermédiaire d'une règle ajustée h6. Dans ce cas, la zone de tolérance est en dehors de la rainure (zone de tolérance projetée*).

Tolérance

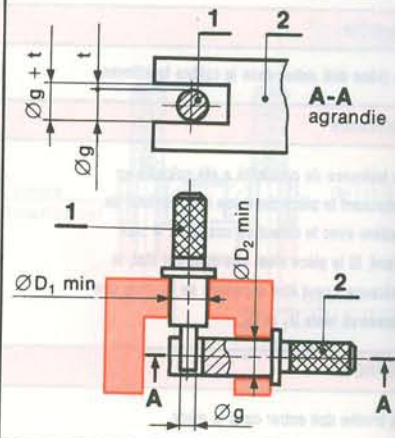
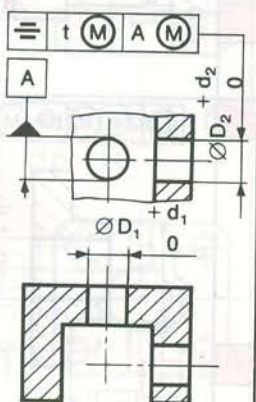
La tolérance de symétrie a été calculée en supposant la pièce dans son état maximal de matière avec le défaut de symétrie le plus grand. Si la pièce n'est pas dans cet état, la tolérance t peut être dépassée en fonction des dimensions réelles D_1 et D_2 .

Contrôle

Les broches doivent se monter complètement.

REMARQUE :

Si on n'utilisait pas le principe du maximum de matière les broches devraient être expansibles dans les alésages D_1 et D_2 .



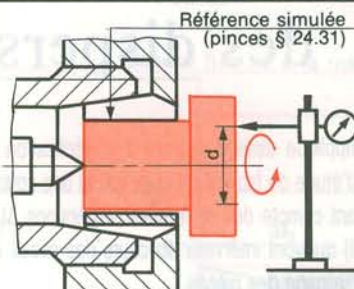
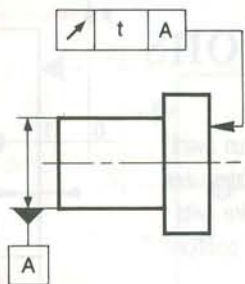
* Tolérance projetée, voir G.D. 22-32.

BATTEMENT*

Battement simple axial

Le battement axial de la surface tolérancée, lors d'une révolution complète de la pièce autour de l'axe du cylindre de référence A, ne doit pas dépasser séparément, pour chaque diamètre d du cylindre de mesure, la valeur t .

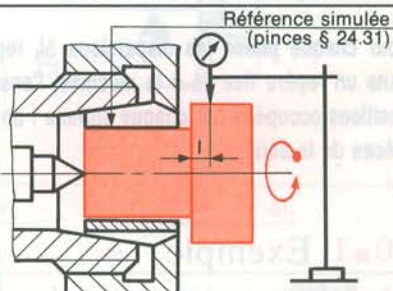
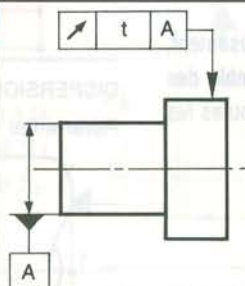
Répéter la mesure sur plusieurs diamètres d différents.



Battement simple radial

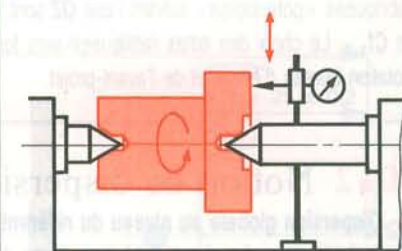
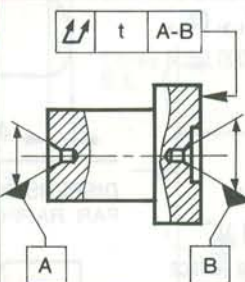
Le battement radial de la surface tolérancée, lors d'une révolution complète de la pièce autour de l'axe du cylindre de référence A, doit pas dépasser séparément, pour chaque position l du plan de mesure, la valeur t .

Répéter la mesure pour plusieurs longueurs l différentes.



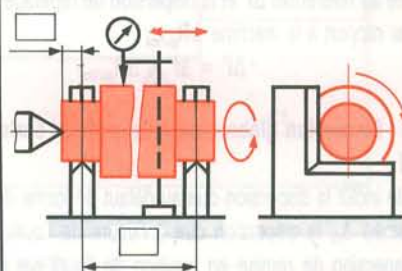
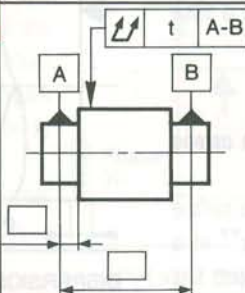
Battement total axial

Le battement axial de la surface tolérancée lors des révolutions complètes de la pièce autour de l'axe des centres de référence doit être compris entre 2 plans distants de t et perpendiculaire à l'axe des centres.



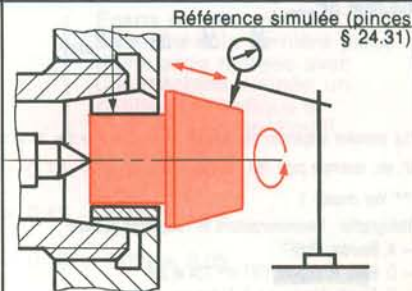
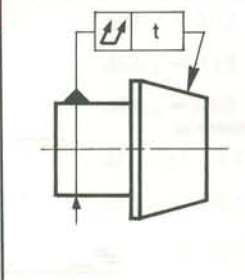
Battement total radial

Le battement radial de la surface tolérancée lors des révolutions complètes de la pièce autour de l'axe des cercles de références A et B, doit être compris entre 2 cylindres coaxiaux distants de t dont les axes coïncident avec l'axe des cercles de référence A et B (écart maximal de lecture : 2 t).



Battement total dans une direction donnée

Le battement, dans une direction donnée, de la surface tolérancée, lors des révolutions complètes de la pièce autour de l'axe du cylindre de référence, doit être compris entre deux cônes coaxiaux distants de t , dans la direction donnée, et dont les axes coïncident avec l'axe du cylindre de référence.



* Voir également : tolérances de battement G.D. 17.4.

60 Méthode des dispersions

Elle s'applique essentiellement à la vérification d'un avant-projet d'étude de fabrication et au calcul des cotes fabriquées en tenant compte des différentes dispersions Δl_i (lire delta l indice i) qui vont intervenir au cours des mises en positions et de l'usinage des pièces.

Pour chaque phase les dispersions Δl_i représentent, dans un repère fixe lié à la machine, l'ensemble des positions occupées par chaque surface i de toutes les pièces de la série.

60.1 Exemple

Soit une série de pièce à fabriquer suivant figure 1. Les cotes fabriquées « potentielles » suivant l'axe $\vec{OZ}$ sont Cf_{1-2} , Cf_{2-3} et Cf_{1-3} . Le choix des cotes fabriquées sera fonction de la cotation bureau d'étude et de l'avant-projet.

60.2 Notion de dispersion

■ Dispersion globale au niveau du référentiel $\Delta l'$ *

Elle inclut la dispersion due au défaut de forme de la surface liée au référentiel $\Delta f'$ et la dispersion de repérage de la pièce par rapport à la machine $\Delta R_{p/m}$:

$$\Delta l' = \Delta f' + \Delta R_{p/m}$$

■ Dispersion globale au niveau de la surface usinée Δl

Elle inclut la dispersion due au défaut de forme de la surface usinée Δf , la dispersion due à l'usure de l'outil Δs^{**} et la dispersion de remise en position de l'outil par rapport à la machine $\Delta P_{o/m}$:

$$\Delta l = \Delta f + \Delta s + \Delta P_{o/m}$$

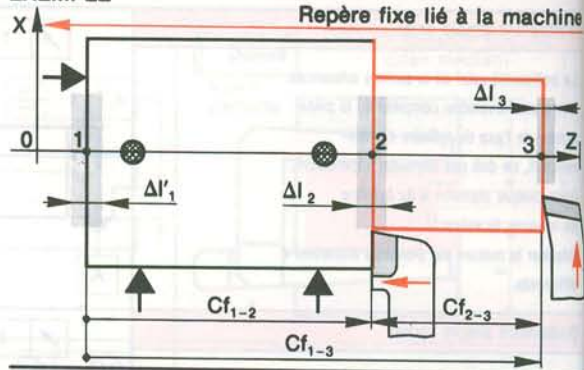
*La première dispersion est repérée Δl , la deuxième par $\Delta l'$ et la troisième par $\Delta l''$, etc. (exemple page 260 : Δl_9 , $\Delta l'_9$, $\Delta l''_9$).

** Voir chapitre 7.

Bibliographie : Recommandations de l'Inspection générale :

— A. Bourdet, ENSET
— D. Bélio, R. Dupont, ITET n°s 234 et 236
— G. Dagois, Séminaire L.E.T. Puteaux, 1983.

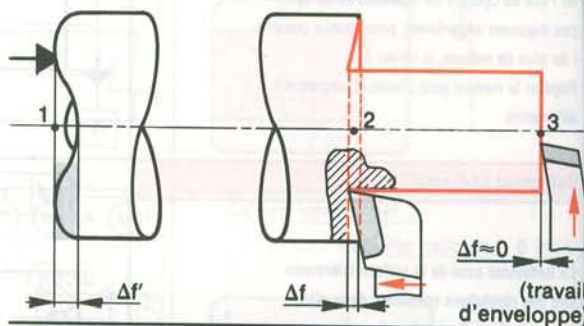
EXEMPLE



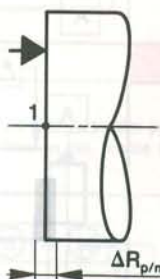
DISPERSIONS DUES AUX DÉFAUTS DE FORME

Référentiel $\Delta f'$

Surfacés produites Δf

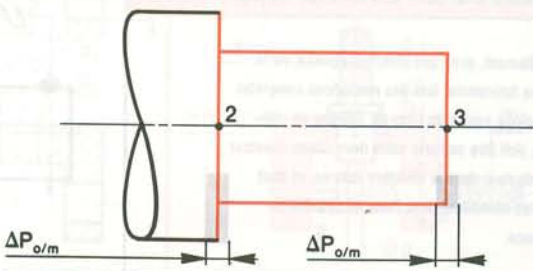


DISPERSION DE REPÉRAGE DE LA PIÈCE PAR RAPPORT À LA MACHINE $\Delta R_{p/m}$



$\Delta R_{p/m}$	Effet
>0	Contact non assuré
<0	Serrage trop important
≈ 0	Serrage modéré
0,02 à 0,05	Mise en contact sans serrage

DISPERSION DE REMISE EN POSITION DE L'OUTIL PAR RAPPORT À LA MACHINE $\Delta P_{o/m}$



60.3 Écart sur la cote fabriquée ΔC_f

■ Soit $C_{f_{1-2}}$ la cote fabriquée entre les surfaces 1 et 2, on a : $\overline{Cf}_{1-2} = \overline{O2} - \overline{O1}$.

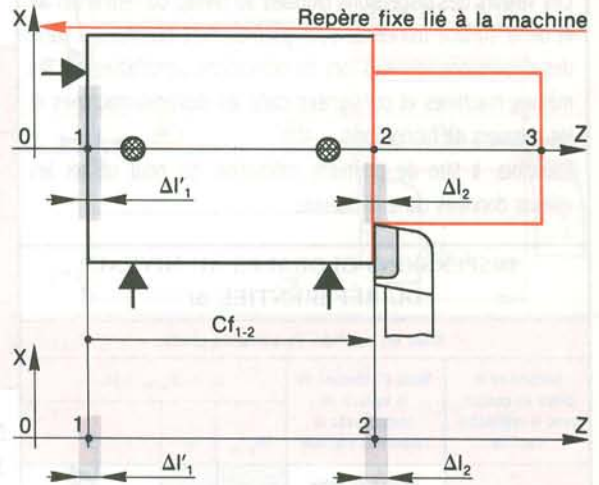
■ Soit $\Delta C_{f_{1-2}}$ l'écart sur la cote fabriquée $C_{f_{1-2}}$, le calcul d'erreur donne : $\Delta C_{f_{1-2}} = \Delta O2 + \Delta O1$.

Soit : $\Delta O2 = \Delta l_2$ et $\Delta O1 = \Delta l'_1$; en ordonnant :

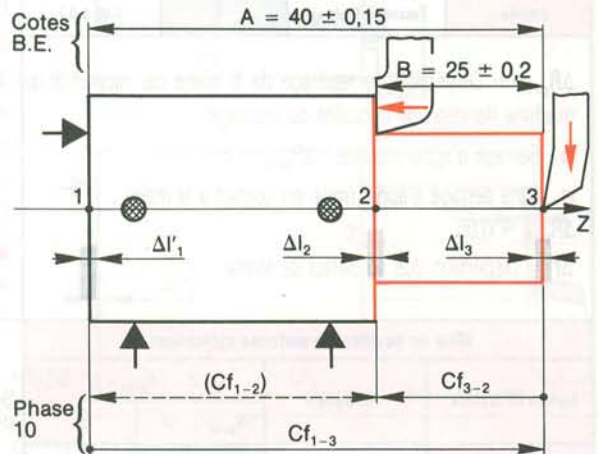
$$\Delta C_{f_{1-2}} = \Delta l'_1 + \Delta l_2.$$

L'écart $\Delta C_{f_{1-2}}$ sur la cote fabriquée $C_{f_{1-2}}$ est égal à la somme de la dispersion globale liée au référentiel $\Delta l'_1$ et de la dispersion globale liée à la surface usinée Δl_2 .

ÉCART SUR LA COTE FABRIQUÉE ΔC_f



CALCUL DES DISPERSIONS GLOBALES



60.4 Calcul des dispersions globales $\Delta l'$ et Δl

Soit les cotes fabriquées $C_{f_{1-3}}$ et $C_{f_{3-2}}$ obtenues dans une seule phase et en deux opérations distinctes. Le calcul des dispersions globales $\Delta l'_1$, Δl_2 et Δl_3 nécessite trois équations, ce qui implique de prendre en compte la cote fabriquée $C_{f_{1-2}}$ (résultante) non incluse dans l'avant-projet d'étude de fabrication.

Soit $\Delta C_{f_{1-2}}$, $\Delta C_{f_{3-2}}$ et $\Delta C_{f_{1-3}}$ les écarts des cotes fabriquées, mesurés après usinage d'une série de pièces :

$$\Delta C_{f_{1-2}} = \Delta l'_1 + \Delta l_2$$

$$\Delta C_{f_{3-2}} = \Delta l_3 + \Delta l_2$$

$$\Delta C_{f_{1-3}} = \Delta l'_1 + \Delta l_3.$$

La résolution du système d'équations donne :

$$\Delta l'_1 = \frac{1}{2} (\Delta C_{f_{1-2}} - \Delta C_{f_{3-2}} + \Delta C_{f_{1-3}})$$

$$\Delta l_2 = \frac{1}{2} (\Delta C_{f_{1-2}} + \Delta C_{f_{3-2}} - \Delta C_{f_{1-3}})$$

$$\Delta l_3 = \frac{1}{2} (-\Delta C_{f_{1-2}} + \Delta C_{f_{3-2}} + \Delta C_{f_{1-3}}).$$

APPLICATION NUMÉRIQUE

$$\Delta C_{f_{1-2}} = 0,12$$

$$\Delta C_{f_{3-2}} = 0,13$$

$$\Delta C_{f_{1-3}} = 0,09$$

Écarts relevés entre la première et la dernière pièce d'une série réalisée avec une machine donnée, un outillage spécifique et pour un réglage d'outil.

$$\Delta l'_1 = \frac{1}{2} (0,12 - 0,13 + 0,09) = 0,04$$

$$\Delta l_2 = \frac{1}{2} (0,12 + 0,13 - 0,09) = 0,08$$

$$\Delta l_3 = \frac{1}{2} (-0,12 + 0,13 + 0,09) = 0,05$$

60.5

VALEURS DES DISPERSIONS

Les valeurs des dispersions globales au niveau du référentiel $\Delta I'$ et de la surface usinée ΔI sont généralement obtenues à partir des dispersions relevées lors de fabrications semblables sur les mêmes machines et consignées dans les dossiers-machines et les dossiers de fabrications.

Toutefois, à titre de première estimation, on peut utiliser les valeurs données dans ce tableau.

DISPERSIONS GLOBALES AU NIVEAU DU RÉFÉRENTIEL $\Delta I'$

Mise en position de surfaces planes

Surface de la pièce en contact avec le référentiel machine	Mode d'obtention de la surface en contact avec le référentiel machine	$\Delta I' = \Delta R_{p/m} + \Delta f'$		
		$\Delta R_{p/m}$	$\Delta f'$	$\Delta I'$
Brute	Moulée au sable			0,4
	Moulée en coquille			0,2
	Sciée			0,1 à 0,4
Usinée	Tournage-Fraisage			0,02 à 0,1

$\Delta R_{p/m}$ = Dispersion de repérage de la pièce par rapport à la machine (fonction de la qualité du montage).

■ Serrage d'appui modéré : $\Delta R_{p/m} \approx 0$.

■ Sans serrage d'appui (mise en contact à la main) :

$\Delta R_{p/m} \approx 0,05$.

$\Delta f'$ = Dispersion due au défaut de forme.

Mise en position de surfaces cylindriques

Surface de la pièce	Porte-pièce	$\Delta I' = \Delta R_{p/m} + \Delta f'$		
		$\Delta R_{p/m}$	$\Delta f'$	$\Delta I'$
Étirée ou usinée	Mandrin 3 mors durs			0,1 à 0,2
	Mandrin 3 mors doux			0,02 à 0,04
Usinée	Centreur cylindrique			suivant jeu
	Centreur conique			0,02
	Rondelles Ringspann			0,01 à 0,02
	Expansible			0,001 à 0,03

$\Delta R_{p/m}$ = Dispersion de repérage de la pièce par rapport à la machine (fonction de la qualité de la prise de pièce ; par exemple, pièce rectifiée en pince $\Delta R_{p/m}$ négligeable).

DISPERSIONS GLOBALES AU NIVEAU DE LA SURFACE USINÉE ΔI

Type de butées	Opération d'usinage	$\Delta I = \Delta P_{o/m} + \Delta f + \Delta s$			
		$\Delta P_{o/m}$	Δf	Δs	ΔI
Fixe	Ébauche	0,04 à 0,08			
	Finition	0,02 à 0,04			
Débrayable mécanique	Ébauche	0,1 à 0,2			
	Finition	0,05 à 0,1			
Débrayable électrique	Ébauche	0,05 à 0,1			
	Finition	0,01 à 0,02			

$\Delta P_{o/m}$ = Dispersion due à la remise en position de l'outil.

Δf = Dispersion due aux défauts de forme de la surface usinée.

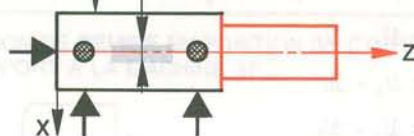
■ Surface obtenue par travail de forme, Δf doit être mesurée ou évaluée.

■ Surface obtenue par travail d'enveloppe, $\Delta f \leq 0,01$ (fonction de la précision du guidage des chariots et de la raideur de l'outil), peut être négligé dans certains cas.

Δs = Dispersion systématique due à l'usure de l'outil ; elle varie en fonction de nombreux paramètres (voir chapitres 7 et 8) et doit être mesurée après essais. Si on ne peut effectuer les essais, une évaluation de la dispersion Δs est possible en fonction de l'IT de la cote Cf.

■ Si la série est petite et concerne un travail de finition, Δs est relativement faible et il peut souvent être négligé.

$\Delta I'$ = Défaut de coaxialité de la surface de prise de pièce avec l'axe du porte-pièce



$\Delta f'$ = Dispersion due aux défauts de forme (circularité, cylindricité) de la surface en contact avec le porte-pièce.

■ Si la surface est obtenue par étirage ou usinée en travail d'enveloppe, $\Delta f' \leq 0,02$.

60.6 Processus d'usinage et tolérance de la cote B. E.

Le respect de la tolérance de la cote bureau d'études (IT cote B.E.) dépend du processus d'usinage.

La tolérance de la cote B.E. doit être supérieure ou égale à la somme des dispersions ΔI_i intervenant lors du processus d'usinage.

$$IT \text{ cote B.E.} \geq \sum \Delta I_i$$

EXEMPLE 1 :

La cote **B** issue de la cote fabriquée **Cf₂₋₃** est obtenue en deux opérations distinctes au cours d'une même phase.

$$ITB \geq \Delta I_2 + \Delta I_3 \text{ soit } 0,3 \geq \Delta I_2 + \Delta I_3. \quad (1)$$

À la suite d'essais et mesures, on obtient :

$$\Delta I_2 = 0,08 \text{ et } \Delta I_3 = 0,05.$$

La relation (1) est vérifiée : $0,3 \geq 0,13$.

EXEMPLE 2 :

La cote **B** issue des cotes fabriquées **Cf₁₋₂** et **Cf₁₋₃** est obtenue en deux opérations distinctes au cours de deux phases différentes 10 et 20.

$$ITB \geq \underbrace{\Delta I'_1 + \Delta I_2}_{\text{Phase 10}} + \underbrace{\Delta I''_1 + \Delta I_3}_{\text{Phase 20}}. \quad (2)$$

À la suite d'essais et mesures, on obtient :

$$\Delta I'_1 = 0,04; \Delta I_2 = 0,08; \Delta I''_1 = 0,04; \Delta I_3 = 0,05.$$

La relation (2) est vérifiée : $0,3 \geq 0,21$.

EXEMPLE 3 :

La cote **B** issue de la cote fabriquée **Cf₂₋₃** est obtenue en une seule opération au cours d'une même phase.

$$ITB \geq \Delta I_{2-3}^*. \quad (3)$$

À la suite d'essais et mesures, on obtient $\Delta I_{2-3} = 0,04$.

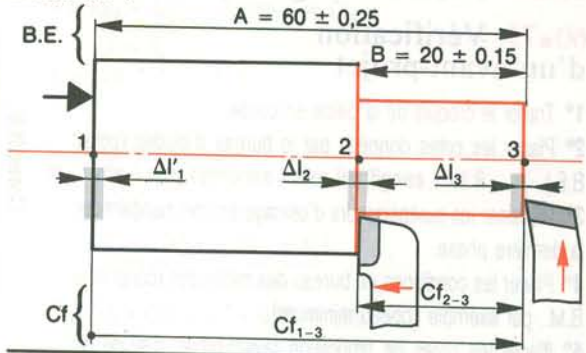
La relation (3) est vérifiée : $0,3 \geq 0,04$.

REMARQUE :

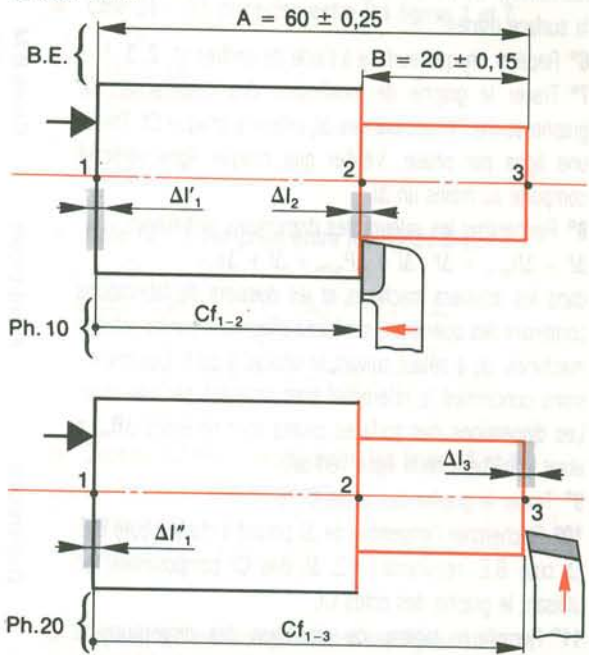
Pour les exemples ci-dessus, on a supposé une usure des outils négligeable ($\Delta s = 0$).

* La dispersion ΔI_{2-3} est égale à l'erreur de position relative des outils 2 et 3. La dispersion de position de l'outil 2 par rapport au référentiel n'intervient pas.

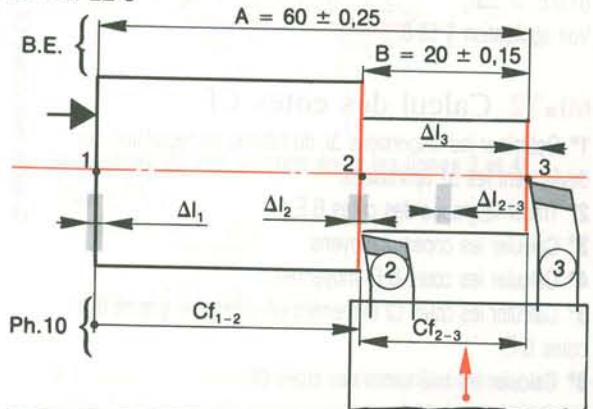
EXEMPLE 1



EXEMPLE 2



EXEMPLE 3



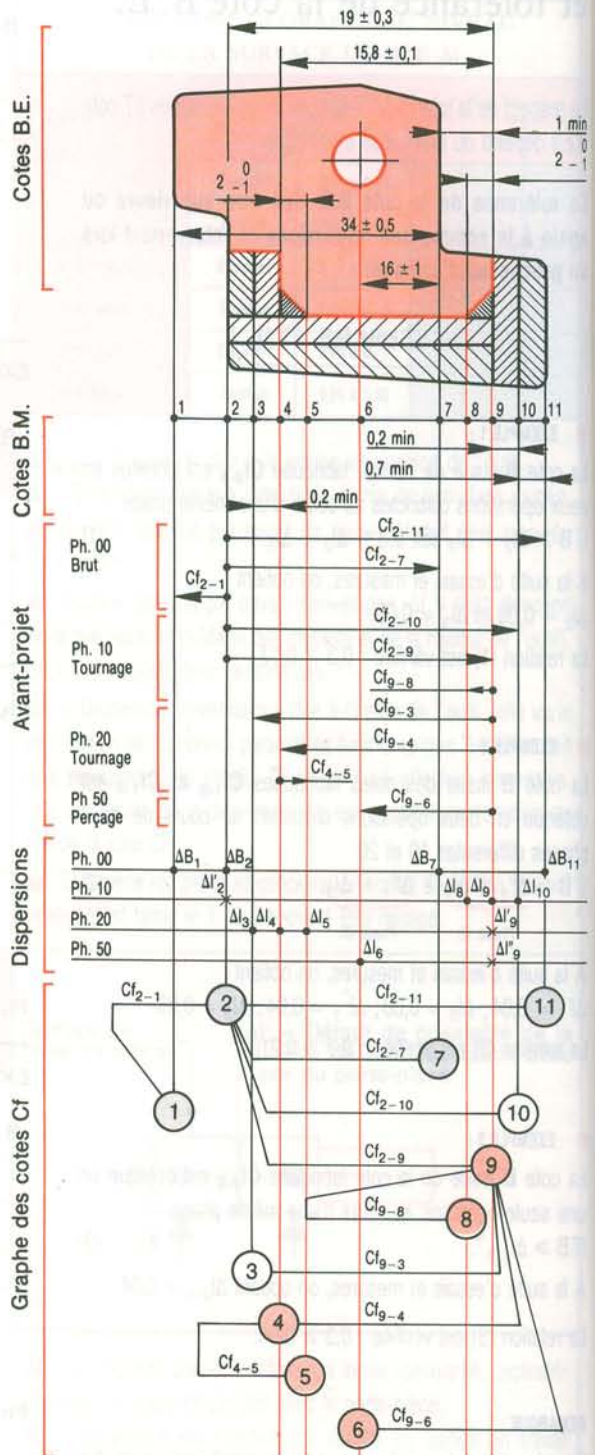
60.7 Méthodologie

60.71 Vérification d'un avant-projet

- 1° Tracer le croquis de la pièce en coupe.
 - 2° Placer les cotes données par le bureau d'études (cotes B.E.).
 - 3° Dessiner les surépaisseurs d'usinage en commençant par la dernière phase.
 - 4° Placer les conditions du bureau des méthodes (conditions B.M., par exemple copeau minimum).
 - 5° Placer les cotes de fabrication (avant-projet d'étude de fabrication). Le point indique le référentiel, la flèche indique la surface usinée*.
 - 6° Repérer chaque surface à l'aide de chiffres (1, 2, 3...).
 - 7° Tracer le graphe de localisation des dispersions. Ce graphe donne l'ensemble des Δl_i propre à chaque Cf. Tracer une ligne par phase. Vérifier que chaque ligne verticale comporte au moins un Δl .
 - 8° Rechercher les valeurs des dispersions globalisées.
 $\Delta l' = \Delta R_{p/m} + \Delta f'$; $\Delta l = \Delta P_{o/m} + \Delta f + \Delta s$
 dans les dossiers machines et les dossiers de fabrications contenant des opérations similaires effectuées sur les mêmes machines, ou à défaut suivant le tableau § 59.5. Les dispersions concernant le référentiel sont repérées par une croix. Les dispersions des surfaces brutes sont repérées ΔB_n , n étant le numéro de la ligne verticale.
 - 9° Tracer le graphe des cotes Cf (§ 17.611).
 - 10° Rechercher l'ensemble de Δl_i propre à chaque cote B.E. (Δ cote B.E. résultante $\geq \sum \Delta l_i$ des Cf composantes) en utilisant le graphe des cotes Cf.
 - 11° Remplir le tableau de répartition des dispersions et vérifier la faisabilité de l'avant-projet d'étude de fabrication ($IT_{B.E.} \geq \sum \Delta l_i$).
- Voir application § 59.8.

60.72 Calcul des cotes Cf

- 1° Optimiser les dispersions Δl_i du tableau de répartition qui deviennent les Δl_i optimisées.
 - 2° Tracer le graphe des cotes B.E.
 - 3° Calculer les copeaux moyens.
 - 4° Calculer les cotes B.E. moyennes.
 - 5° Calculer les cotes Cf moyennes en utilisant le graphe des cotes B.E.
 - 6° Calculer les tolérances des cotes Cf.
- Voir application § 59.9.



* Il n'est pas indispensable d'installer ces cotes mais elles facilitent la lecture du processus d'usinage et l'établissement du graphe des cotes Cf.

60.8 Vérification d'un avant-projet de fabrication

L'exemple traité concerne la fourchette d'embrayage dont le dessin de définition et la gamme sont donnés pages 61 et 62. La vérification est effectuée suivant l'axe Z (voir fig. page précédente) et suit la méthode donnée au § 59.71.

60.81 Valeurs des Δl_i

Ces valeurs sont prises dans les dossiers-machines ou les dossiers de fabrications contenant les relevés faits lors d'opérations similaires sur les mêmes machines*.

$$\Delta B_2 = \Delta B_1 = \Delta B_7 = \Delta B_{11} = 0,5 \text{ (IT/2 cote de brut).}$$

$$\Delta l'_2 = 0,5 \text{ (reprise sur surface brute de fonderie).}$$

$$\Delta l_{10} = 0,2 \text{ (usinage ébauche d'une surface plane).}$$

$$\Delta l_9 = 0,05 \text{ (usinage finition d'une surface plane).}$$

$$\Delta l_8 = 0,1 \text{ (usinage finition d'un chanfrein).}$$

$$\Delta l'_9 = 0,03 \text{ (reprise sur surface usinée).}$$

$$\Delta l_3 = 0,2 \text{ (usinage ébauche d'une surface plane).}$$

$$\Delta l_4 = 0,05 \text{ (usinage finition d'une surface plane).}$$

$$\Delta l_5 = 0,1 \text{ (usinage finition d'un chanfrein).}$$

$$\Delta l''_9 = 0,03 \text{ (reprise sur surface usinée).}$$

$$\Delta l_6 = 0,07 \text{ (usinage en montage de perçage).}$$

60.82 Faisabilité de l'avant-projet de fabrication

L'avant-projet de fabrication sera vérifié si : IT cote B.E. $\geq \Sigma \Delta l_i$ des Cf composantes.

■ Cote 19 $\pm 0,3$ comprise entre les lignes 2 et 9

$$0,6 \geq (\Delta l'_2 + \Delta l_9) \text{ Directe avec Cf}_{2-9}.$$

Phase 10

$$0,6 \geq 0,5 + 0,05 = 0,55.$$

■ Cote 15,8 $\pm 0,1$ comprise entre les lignes 4 et 9

$$0,2 \geq (\Delta l'_9 + \Delta l_4) \text{ Directe avec Cf}_{4-9}.$$

Phase 20

$$0,2 \geq 0,03 + 0,05 = 0,08.$$

■ Cote 2 $\pm 0,1$ comprise entre les lignes 8 et 9

$$1 \geq (\Delta l_9 + \Delta l_8) \text{ Directe avec Cf}_{9-8}.$$

Phase 10

$$1 \geq 0,05 + 0,1 = 0,15.$$

* À défaut, voir tableau § 59.5.

■ Cote 2 $\pm 0,1$ comprise entre les lignes 4 et 5

$$1 \geq (\Delta l_4 + \Delta l_5) \text{ Directe avec Cf}_{4-5}.$$

Phase 20

$$1 \geq 0,05 + 0,1 = 0,15.$$

■ Cote 1 min comprise entre les lignes 7 et 9

$$\text{Cf}_{2-7} + \text{Cf}_{2-9}.$$

$$\text{IT} \geq (\Delta B_2 + \Delta B_7) + (\Delta l'_2 + \Delta l_9).$$

Phase 00

Phase 10

$$\text{IT} \geq 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,05 = 1,55.$$

■ Cote 34 $\pm 0,5$ comprise entre les lignes 1 et 7

$$\text{Cf}_{2-1} + \text{Cf}_{2-7}.$$

$$1 \geq (\Delta B_1 + \Delta B_7).$$

Phase 00

$$1 \geq 0,5 + 0,5 = 1.$$

■ Cote 16 ± 1 comprise entre les lignes 6 et 7

$$\text{Cf}_{2-7} + \text{Cf}_{2-9} + \text{Cf}_{9-6}.$$

$$2 \geq (\Delta B_2 + \Delta B_7) + (\Delta l'_2 + \Delta l_9) + (\Delta l''_9 + \Delta l_6).$$

Phase 00

Phase 10

Phase 50

$$2 \geq 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,05 + 0,03 + 0,07 = 1,65.$$

■ Copeau 0,2 min compris entre les lignes 9 et 10

$$\text{Cf}_{2-9} + \text{Cf}_{2-10}.$$

$$\text{IT copeau} \geq (\Delta l_{10} + \Delta l_9).$$

$$\text{IT copeau} \geq 0,2 + 0,05 = 0,25.$$

■ Copeau 0,7 min compris entre les lignes 10 et 11

$$\text{Cf}_{2-11} + \text{Cf}_{2-10}.$$

$$\text{IT copeau} \geq (\Delta B_2 + \Delta B_{11}) + (\Delta l'_2 + \Delta l_{10}).$$

Phase 00

Phase 10

$$\text{IT copeau} \geq 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,2 = 1,7.$$

■ Copeau 0,2 min compris entre les lignes 3 et 4

$$\text{Cf}_{9-3} + \text{Cf}_{9-4}.$$

$$\text{IT copeau} \geq (\Delta l_3 + \Delta l_4).$$

Phase 20

$$\text{IT copeau} \geq 0,2 + 0,05 = 0,25.$$

■ Toutes les inéquations sont vérifiées, l'avant-projet est faisable. Tous les résultats sont portés dans le tableau § 59.9.

60.9 Calcul des cotes Cf

L'avant-projet ayant été vérifié et retenu, il devient projet et il est nécessaire de calculer les cotes Cf pour les installer sur les contrats de phase. On utilise la méthode donnée au § 59.72.

60.91 Optimisation des dispersions.

La condition de faisabilité de la gamme est :

$$IT \text{ cote B.E.} \geq \sum \Delta I_i$$

Si $IT \text{ cote B.E.} > \sum \Delta I_i$, il est possible par une méthode d'approches successives d'optimiser les valeurs ΔI_i afin de distribuer au mieux, du point de vue économique, les tolérances des cotes fabriquées entre les différents ΔI_i tout en respectant $IT \text{ cote B.E.} \geq \sum \Delta I_i$.

EXEMPLE :

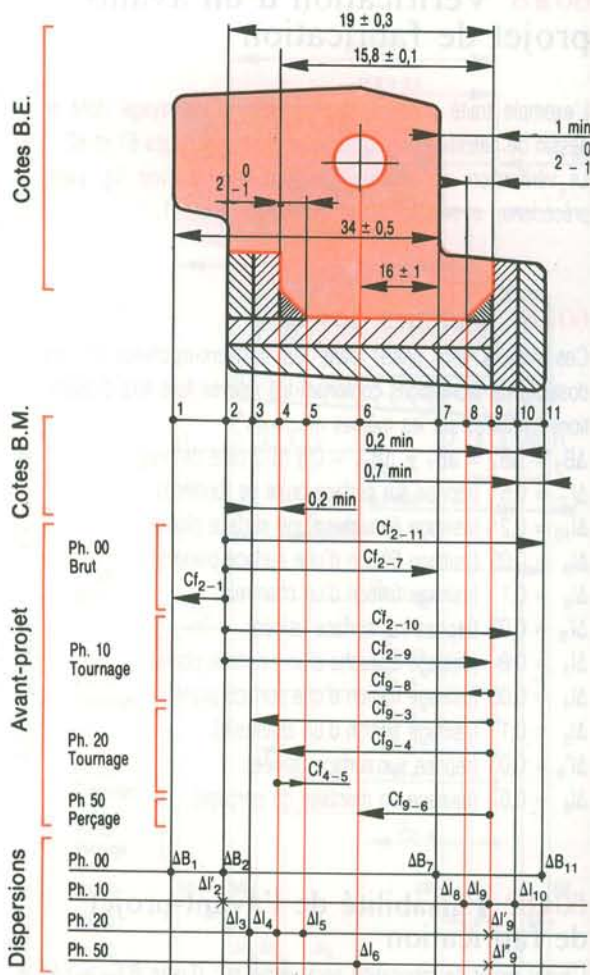
La cote B.E. $19 \pm 0,3$ comprise entre les lignes 2 et 9 a un IT de 0,6.

$$\sum \Delta I_i = 0,55 \text{ (voir § 59.82).}$$

Reliquat : $IT \text{ cote B.E.} - \sum \Delta I_i = 0,05$.

$$\Delta I_9 \text{ optimisé} = \Delta I_9 + \text{reliquat} \\ = 0,05 + 0,05 = 0,1.$$

L'utilisation de ce reliquat est intéressante car elle permet, en particulier, d'augmenter la tolérance sur la cote de réglage.



RÉPARTITION ET OPTIMISATION DES DISPERSIONS

Cotes B.E. et B.M.			ΔI_i														$\sum \Delta I_i$	Reliquat $IT \text{ B.E.} - \sum \Delta I_i$	Faisabilité
Cotes	Lignes	IT	ΔB_1	ΔB_2	ΔB_7	ΔB_{11}	$\Delta I_2'$	ΔI_{10}	ΔI_9	ΔI_8	$\Delta I_9'$	ΔI_3	ΔI_4	ΔI_5	$\Delta I_9''$	ΔI_6			
$19 \pm 0,3$	2-9	0,6					0,5		0,05								0,55	0,05	oui
$15,8 \pm 0,1$	4-9	0,2									0,03		0,05				0,08	0,12	oui
$2 \pm 0,1$	8-9	1							0,05	0,1							0,15	0,85	oui
$2 \pm 0,1$	4-5	1											0,05	0,1			0,15	0,85	oui
1 min	7-9	—		0,5	0,5		0,5		0,05								1,55	—	—
$34 \pm 0,5$	1-7	1	0,5		0,5												1	0	oui
16 ± 1	6-7	2		0,5	0,5		0,5		0,05						0,03	0,07	1,65	0,35	oui
0,2 min	9-10	—						0,2	0,05								0,25	—	—
0,7 min	10-11	—		0,5		0,5	0,5	0,2									1,7	—	—
0,2 min	3-4	—										0,2	0,05				0,25	—	—
ΔI_i + reliquat								0,2 + 0,1	0,05 + 0,05	0,1 + 0,6		0,2 + 0,1	0,05 + 0,1	0,1 + 0,6		0,07 + 0,3			
ΔI_i optimisés			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,1	0,7	0,03	0,3	0,15	0,7	0,03	0,37			

■ Pour des raisons économiques de production des « bruts », les reliquats trop importants ne sont que partiellement utilisés.

■ Les ΔI_i intervenant pour réaliser les cotes B.E. ou B.M. unilimites peuvent être systématiquement optimisés ; par exemple, ΔI_3 et $\Delta I_{10} : + 0,1$.

60.92 Calcul des copeaux moyens

Copeau moy = $1/2$ (copeau min + copeau max)

Copeau max = copeau min + $\Sigma \Delta l_i$ opt.

$$\text{Copeau moy (9-10)} = 1/2 [0,2 + (0,2 + 0,4)] = 0,4.$$

$$\text{Copeau moy (10-11)} = 1/2 [0,7 + (0,7 + 1,8)] = 1,6.$$

$$\text{Copeau moy (3-4)} = 1/2 [0,2 + (0,2 + 0,45)] = 0,425.$$

60.93 Calcul des cotes moyennes bureau d'études

■ Cotes B.E. moyennes issues de cotes unilimites

$$\begin{aligned} \text{Cote B.E. moy (7-9)} &= 1/2 [\text{cote min} + (\text{cote min} + \Sigma \Delta l_i \text{ opt})] \\ &= 1/2 [1 + (1 + 1,6)] = 1,8. \end{aligned}$$

■ Cotes B.E. moyennes issues de cotes bilimites

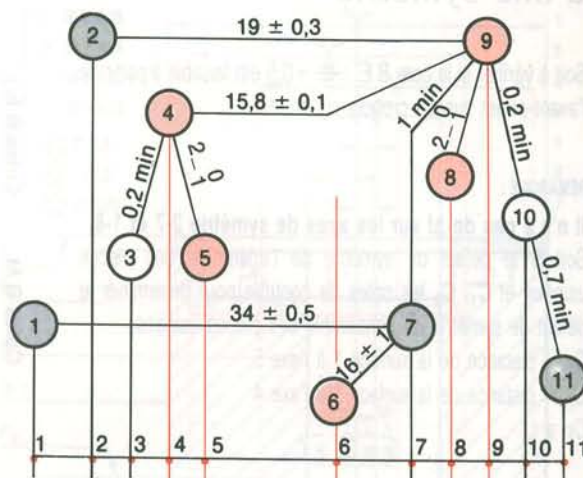
$$\text{Cote B.E. moy} = 1/2 (\text{cote min} + \text{cote max}).$$

$$\text{Cote B.E. moy (2-9)} = 19; \text{ cote B.E. moy (4-9)} = 15,8.$$

$$\text{Cote B.E. moy (8-9)} = 1,5; \text{ cote B.E. moy (4-5)} = 1,5.$$

$$\text{Cote B.E. moy (1-7)} = 34; \text{ cote B.E. moy (6-7)} = 16.$$

GRAPHE DES COTES B.E.



$$\begin{aligned} \text{Cf}_{9-3} \text{ moy} &= \text{C B.E.}_{9-4} \text{ moy} + \text{C B.E.}_{4-3} \text{ moy} \\ &= 15,8 + 0,425 = 16,225. \end{aligned}$$

$$\text{Cf}_{9-4} \text{ moy} = \text{C B.E.}_{9-4} \text{ moy} = 15,8.$$

$$\text{Cf}_{4-5} \text{ moy} = \text{C B.E.}_{4-5} \text{ moy} = 1,5.$$

$$\begin{aligned} \text{Cf}_{9-6} \text{ moy} &= \text{C B.E.}_{9-7} \text{ moy} + \text{C B.E.}_{7-6} \text{ moy} \\ &= 1,8 + 16 = 17,8. \end{aligned}$$

60.94 Calcul des cotes Cf moyennes

La valeur moyenne d'une cote fabriquée Cf située entre deux lignes données est égale à la somme des cotes moyennes B.E. et des conditions des méthodes situées entre ces deux lignes.

$\text{Cf moy} = \underbrace{\Sigma \text{ cotes moy B.E.} + \text{conditions moy B.M.}}_{\text{Composantes}}$
Résultante

La cote Cf_{2-11} est comprise entre les lignes 2 et 11, le graphe des cotes B.E. et B.M. indique :

$$\begin{aligned} \text{Cf}_{2-11} \text{ moy} &= \text{C B.E.}_{2-9} \text{ moy} \\ &\quad + \text{C B.E.}_{9-10} \text{ moy} + \text{C B.E.}_{10-11} \text{ moy} \\ &= 19 + 0,4 + 1,6 = 21. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cf}_{2-7} \text{ moy} &= \text{C B.E.}_{2-9} \text{ moy} - \text{C B.E.}_{9-7} \text{ moy} \\ &= 19 - 1,8 = 17,2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cf}_{2-1} \text{ moy} &= \text{C B.E.}_{1-7} \text{ moy} + \text{C B.E.}_{7-9} \text{ moy} \\ &\quad - \text{C B.E.}_{9-2} \text{ moy} \\ &= 34 + 1,8 - 19 = 16,8. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cf}_{2-10} \text{ moy} &= \text{C B.E.}_{2-9} \text{ moy} + \text{C B.E.}_{9-10} \text{ moy} \\ &= 19 + 0,4 = 19,4. \end{aligned}$$

$$\text{Cf}_{2-9} \text{ moy} = \text{C B.E.}_{2-9} \text{ moy} = 19.$$

$$\text{Cf}_{9-8} \text{ moy} = \text{C B.E.}_{9-8} \text{ moy} = 1,5.$$

60.95 Calcul des tolérances des Cf

$$\text{IT Cf} = \Delta l'_i \text{ opt} + \Delta l_i \text{ opt.}$$

$$\text{IT Cf}_{2-11} = \Delta B_2 \text{ opt} + \Delta B_{11} \text{ opt} = 0,5 + 0,5 = \pm 0,5.$$

$$\text{IT Cf}_{2-7} = \Delta B_2 \text{ opt} + \Delta B_7 \text{ opt} = 0,5 + 0,5 = \pm 0,5.$$

$$\text{IT Cf}_{2-1} = \Delta B_2 \text{ opt} + \Delta B_1 \text{ opt} = 0,5 + 0,5 = \pm 0,5.$$

$$\text{IT Cf}_{2-10} = \Delta l'_2 \text{ opt} + \Delta l_{10} \text{ opt} = 0,5 + 0,3 = \pm 0,4.$$

$$\text{IT Cf}_{2-9} = \Delta l'_2 \text{ opt} + \Delta l_9 \text{ opt} = 0,5 + 0,1 = \pm 0,3.$$

$$\text{IT Cf}_{9-8} = \Delta l_9 \text{ opt} + \Delta l_8 \text{ opt} = 0,1 + 0,7 = \pm 0,4.$$

$$\text{IT Cf}_{9-3} = \Delta l'_9 \text{ opt} + \Delta l_3 \text{ opt} = 0,03 + 0,3 = \pm 0,165.$$

$$\text{IT Cf}_{9-4} = \Delta l'_9 \text{ opt} + \Delta l_4 \text{ opt} = 0,03 + 0,15 = \pm 0,09.$$

$$\text{IT Cf}_{4-5} = \Delta l_4 \text{ opt} + \Delta l_5 \text{ opt} = 0,15 + 0,7 = \pm 0,425.$$

$$\text{IT Cf}_{9-6} = \Delta l''_9 \text{ opt} + \Delta l_6 \text{ opt} = 0,03 + 0,37 = \pm 0,2.$$

60.96 Valeurs des cotes Cf

$$\text{Cf}_{2-11} = 21 \pm 0,5; \text{ Cf}_{8-9} = 1,5 \pm 0,4;$$

$$\text{Cf}_{2-7} = 17,2 \pm 0,5; \text{ Cf}_{9-3} = 16,225 \pm 0,165;$$

$$\text{Cf}_{2-1} = 16,8 \pm 0,5; \text{ Cf}_{9-4} = 15,8 \pm 0,09;$$

$$\text{Cf}_{2-10} = 19,4 \pm 0,4; \text{ Cf}_{4-5} = 1,5 \pm 0,425;$$

$$\text{Cf}_{2-9} = 19 \pm 0,3; \text{ Cf}_{9-6} = 17,8 \pm 0,2.$$

60.10 Vérification d'une symétrie

Soit à vérifier si la cote B.E. : $\equiv = 0,5$ est faisable à partir de l'avant-projet suivant croquis ci-contre.

REMARQUE :

Il n'y a pas de ΔI sur les axes de symétrie 2-7 et 1-8.

Soit S le défaut de symétrie de l'ensemble des pièces usinées et C_1 , C_2 les cotes de contrôle pour déterminer le défaut de symétrie de l'ensemble des pièces usinées.

C_1 = distance de la surface 1 à l'axe 5,

C_2 = distance de la surface 1 à l'axe 4.

On a :

$$S = C_1 - C_2.$$

D'après le graphe des cotes Cf on a C_1 compris entre les lignes 1 et 5, soit :

$$C_1 = 1/2 C_{f_{8-1}}.$$

C_2 est compris entre les lignes 1 et 4

$$C_2 = C_{f_{1-2}} + 1/2 C_{f_{2-7}}.$$

$$C_2 = C_{f_{1-2}} + 1/2 (C_{f_{1-7}} - C_{f_{1-2}}).$$

$$C_2 = 1/2 (C_{f_{1-2}} + C_{f_{1-7}}).$$

$$S = C_1 - C_2.$$

$$S = 1/2 C_{f_{8-1}} - 1/2 (C_{f_{1-2}} + C_{f_{1-7}}).$$

$$\Delta S = 1/2 (\Delta I'_8 + \Delta I_1) + 1/2 (\Delta I'_1 + \Delta I_2 + \Delta I'_7 + \Delta I_7).$$

$$\Delta S = 1/2 (\Delta I'_8 + \Delta I_1) + \Delta I'_1 + 1/2 (\Delta I_2 + \Delta I_7).$$

APPLICATION NUMÉRIQUE :

Soit les valeurs de ΔI relevées lors d'une fabrication analogue précédente :

$$\Delta B_0 = \Delta B_9 = 0,4 \text{ (IT/2 sciage).}$$

$$\Delta I'_0 = 0,4 \text{ (reprise sur brut scié §59.5).}$$

$$\Delta I_8 = \Delta I_1 = 0,15 \text{ (surface usinée).}$$

$$\Delta I'_8 = \Delta I'_1 = \Delta I'_7 = 0,04 \text{ (reprise sur surface usinée).}$$

$$\Delta I_2 = \Delta I_7 = 0,05 \text{ (surface usinée).}$$

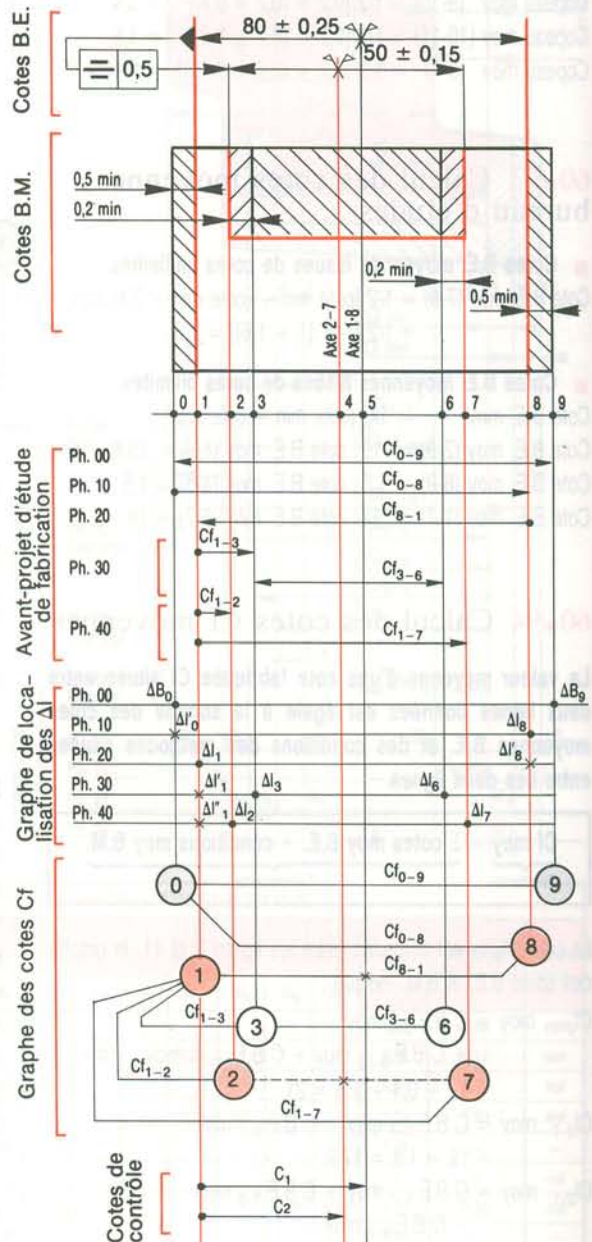
IT cote B.E. $\geq \sum \Delta I_i$ des Cf composantes.

$$0,5 \geq 1/2 (\Delta I'_8 + \Delta I_1) + \Delta I'_1 + 1/2 (\Delta I_2 + \Delta I_7).$$

$$0,5 \geq 1/2 (0,04 + 0,15) + (0,04 + 1/2 (0,05 + 0,05)).$$

$$0,5 \geq 0,185.$$

La cote B.E. : $\equiv = 0,5$ est faisable avec l'avant-projet proposé.



60.11 Vérification d'une coaxialité

Soit à vérifier les cotes condition B.E. 5; 6; 7; $\odot \varnothing 0,5$;
 $\odot \varnothing 0,3$; $\odot \varnothing 0,25$ suivant l'avant-projet donné.

60.111 Avant-projet

Phase 00 : $\varnothing 1$; $\varnothing 4$; F_1 ; F'_1 (brut).

Phase 10 : F_2 ; $\varnothing 2$; F'_2 (tournage).

Phase 20 : F_3 ; $\varnothing 3$; F'_3 (tournage).

60.112 Écarts sur les cotes B.E.

Condition B.E. 1 : $\Delta B_{E.0-11} = \Delta B_0 + \Delta B_{11}$.

Condition B.E. 2 : $\Delta B_{E.1-9} = \Delta l_1 + \Delta l_9$.

Condition B.E. 3 : $\Delta B_{E.2-10} = \Delta l_2 + \Delta l_{10}$.

Condition B.E. 4 : $\Delta B_{E.3-8} = \Delta B_3 + \Delta B_8$.

Condition B.E. 5 : $\Delta B_{E.5-6} = \Delta B_5 + \Delta B_6$.

Condition B.E. 6 : $\Delta B_{E.4-5} = \Delta l'_5 + \Delta l_4$.

Condition B.E. 7 : $\Delta B_{E.4-7} = \Delta l'_4 + \Delta l_7$.

60.113 Vérification

IT cote B.E. $\geq \Sigma \Delta l_i$ des cotes Cf composantes

Condition 5 : $IT_{B.E.} = 0,5$

$$0,5 \geq \Delta B_5 + \Delta B_6.$$

Condition 6 : $IT_{B.E.} = 0,3$

$$0,3 \geq \Delta l'_5 + \Delta l_4.$$

Condition 7 : $IT_{B.E.} = 0,25$

$$0,25 \geq \Delta l'_4 + \Delta l_7.$$

■ Dispersion sur le brut (coquille sous pression)

$$\Delta B_0 = \Delta B_3 = \Delta B_5 = \Delta B_6 = \Delta B_8 = \Delta B_{11} = 0,1^*.$$

■ Dispersion globale au niveau du référentiel**

$$\Delta l'_5 = 0,15 \text{ (reprise en mandrin 3 mors durs).}$$

$$\Delta l'_4 = 0,04 \text{ (reprise en mandrin 3 mors doux).}$$

■ Dispersion sur les axes usinés

$$\Delta l_4 = \Delta l_7 = 0,01 \text{ (jeu de la broche).}$$

$$\text{Condition 5 : } \odot \varnothing 0,5 \geq \Delta B_5 + \Delta B_6$$

$$\geq 0,1 + 0,1 = 0,2.$$

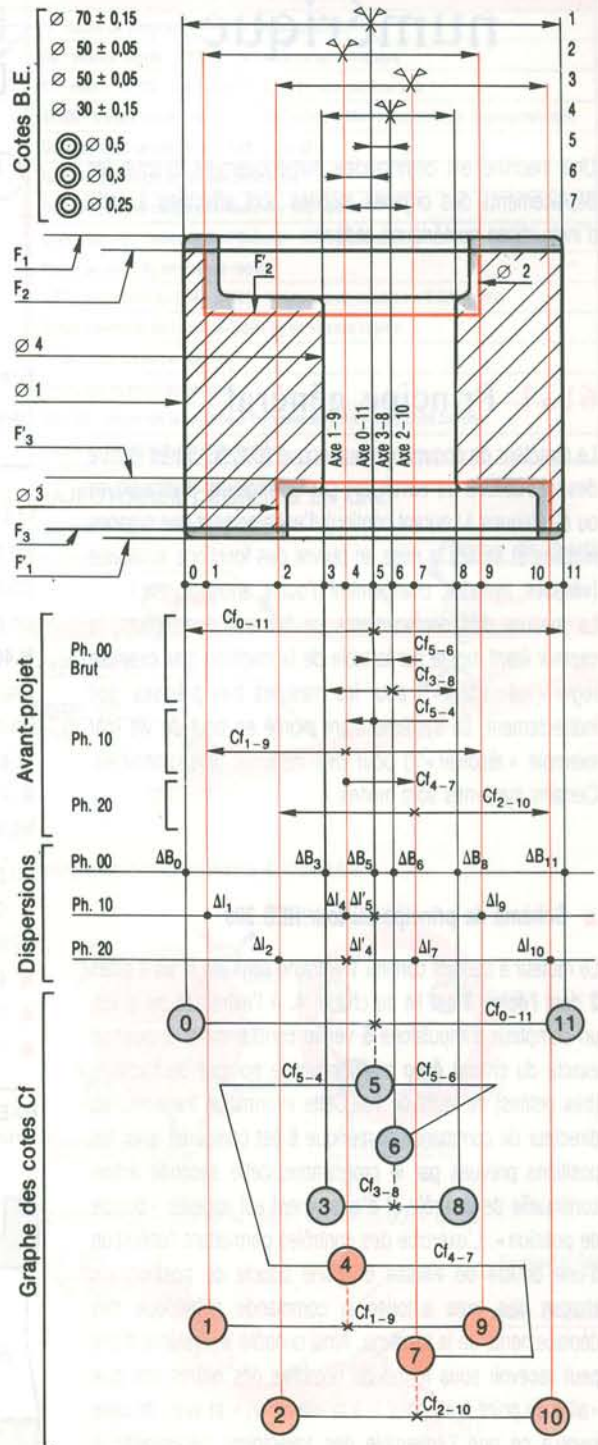
$$\text{Condition 6 : } \odot \varnothing 0,3 \geq \Delta l'_5 + \Delta l_4$$

$$\geq 0,15 + 0,01 = 0,16.$$

$$\text{Condition 7 : } \odot \varnothing 0,25 \geq \Delta l'_4 + \Delta l_7$$

$$\geq 0,04 + 0,01 = 0,05.$$

Les coaxialités sont faisables avec l'avant-projet proposé.



* Voir § 11.25 (0,2 au total soit 0,1 par face).

** Voir § 59.5.

61 Commande numérique

Une machine est commandée numériquement lorsque les déplacements des organes mobiles sont effectués à partir d'instructions numériques codées.

61.1 Principe général

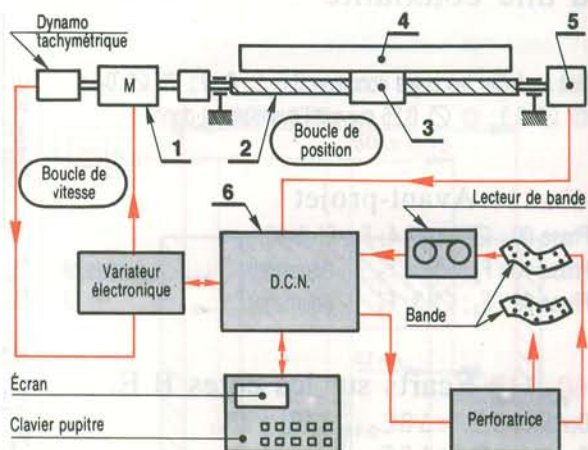
Le directeur de commande numérique (D.C.N.) après lecture des instructions de travail agit sur les moteurs (hydrauliques ou électriques à courant continu) d'entraînement des organes mobiles et assure la mise en œuvre des fonctions auxiliaires (vitesses, avances, changement d'outils, arrosage, etc.).

La mesure des déplacements se fait soit directement, le capteur étant monté sur la table de la machine (par exemple règle « inductosyn* ») pour les mesures très précises, soit indirectement. Le système étant monté en bout de vis (par exemple « résoudre** ») pour des mesures plus grossières. Certains systèmes sont mixtes.

■ Schéma de principe du tour HES 300

Le moteur à courant continu 1 entraîne sans jeu la vis à billes 2 dont l'écrou 3 est lié au chariot 4. À l'extrémité de la vis, un compteur d'impulsions 5 vérifie constamment la position exacte du chariot 4 en additionnant le nombre de fractions (très petites) de tours de vis. Cette information transmise au directeur de commande numérique 6 est comparée avec les positions prévues par le programme, cette seconde action continue de contrôle et d'ajustement est appelée « boucle de position ». L'exercice des contrôles permettant l'obtention d'une boucle de vitesse et d'une boucle de position sur chacun des axes autorise la commande numérique des déplacements de la machine. Ainsi contrôlé le système d'axe peut recevoir sous forme de nombres des ordres tels que « aller du point A au point B à la vitesse v_1 » et ainsi de suite jusqu'à ce que l'ensemble des trajectoires nécessaires à l'usinage soit décrit.

SCHÉMA DE PRINCIPE DU TOUR HES 300 H. Ernault-Toyot



61.2 Structure d'un programme

Un programme comporte toutes les informations utiles à la machine pour réaliser l'usinage.

Un programme est formé de lignes ou blocs, par exemple :

N 40 X 21.208.

Une ligne est formée de mots, par exemple : **X 21.208.**

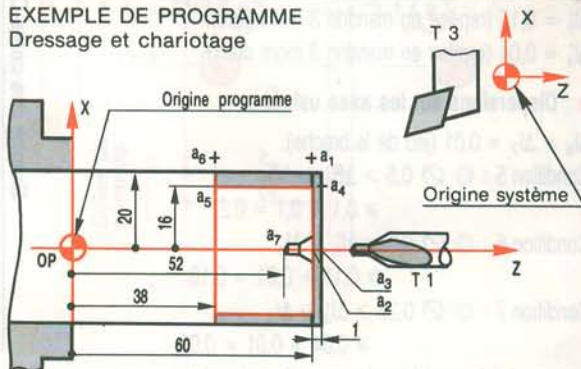
Un mot comprend une adresse et un format, par exemple : **X 21.208** (X est l'adresse, 21.208 le format).

X + 0021.000, les quatre premiers chiffres donnent les millimètres, les trois derniers les micromètres, soit en écriture simplifiée **X 21**.

Un programme comporte principalement :

- des fonctions préparatoires (G), des fonctions d'appel de mode d'interpolation (G 0) ou de cycles (G 84),
- des coordonnées de points (X, Y, Z, I, K, ...),
- des informations de vitesses, d'avances (S, F, ...),
- des fonctions auxiliaires (M, ...).

EXEMPLE DE PROGRAMME Dressage et chariotage



* Inductosyn : système de mesure analogique direct pour une mesure fine.

** Résolver : système de mesure analogique indirect pour une mesure relativement grossière.

EXEMPLE DE PROGRAMME - Dressage et chariotage NUM 720 T - 760 T

Programme	Désignation
% 1 (Dressage - Chariotage - NUM 720 T)	% : début de programme - 1 : n° de programme
N10 G0 G52 XZ	G0 : avance rapide - G52 XZ : retour à l'origine mesure
N20 T3 D3 M6	T3 : outil n° 3 - D3 : correcteur n° 3 - M6 : rotation tourelle
N30 S1000 M4 M8	S1000 : fréquence de rotation = 1 000 tr/min - M4 : rotation sens trigonométrique
a ₁ N40 X42 Z60	Déplacement rapide en a ₁ - X42 : $\varnothing = 42$
N50 G92 X42 S2500	G92 : limitation de la vitesse de broche
N60 G96 X42 S100	G96 : vitesse de coupe constante S = 100 m/min*
a ₂ N70 G1 G95 X0 F.3	Dressage - G1 : interpolation linéaire - G95 : avance en mm/tr - F = 0,3
a ₃ N80 G0 Z61	Recul au point a ₃ en vitesse rapide
N90 G97 S1000	G97 : annulation de G96 - S1000 : fréquence de rotation = 2 500 tr/min
a ₄ N100 X32	Positionnement de l'outil au point a ₄ en vitesse rapide
a ₅ N110 G1 Z38 F.3	Chariotage jusqu'au point a ₅
a ₆ N120 X42	Dressage et recul au point a ₆
N130 G0 G52 XZ M5	G52 XZ : retour de la tourelle à l'origine mesure - M5 : arrêt broche
N140 T1 D1 M6	Appel de l'outil n° 1 (foret à centrer)

61.3 Trajectoires décrites en C. N.

Toutes les trajectoires ayant une définition mathématique sont réalisables en commande numérique. Cependant, pour les machines usuelles, les trajectoires sont des droites ou des cercles :

■ Interpolation linéaire G01

La trajectoire est une portion de droite quelconque dans le plan.

■ Interpolation circulaire G02-G03

La trajectoire est un cercle ou une portion de cercle.

G02 correspond au sens des aiguilles d'une montre.

G03 correspond au sens trigonométrique.

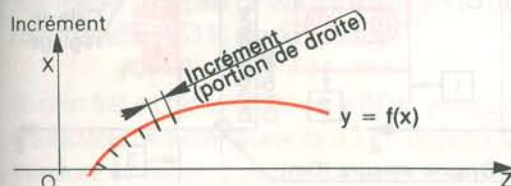
■ Contournage dans le plan G01- G02 - G03

Le profil usiné est une combinaison de droites et de cercles.

Si le profil est une courbe quelconque $y = f(x)$, il faut donner tous les points définissant la courbe avec un «incrément»* acceptable, fonction de l'état de surface (fig. 4).

■ Contournage dans l'espace

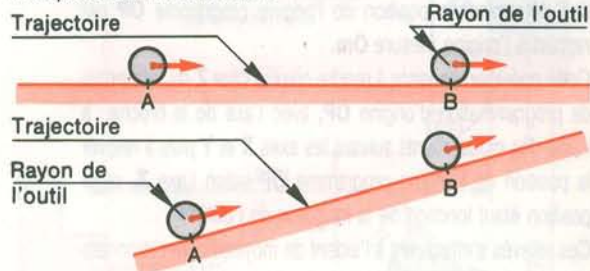
Ce type de contournage ne peut être réalisé avec des machines usuelles.



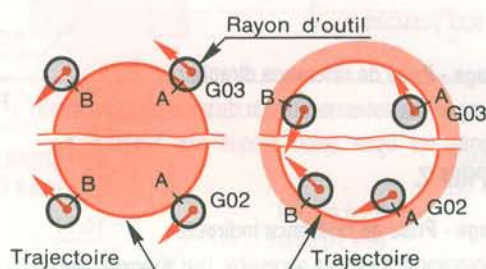
* Incrément : segment de droite, plus l'incrément est petit, meilleur est l'état de surface.

TRAJECTOIRES DÉCRITES EN C.N.

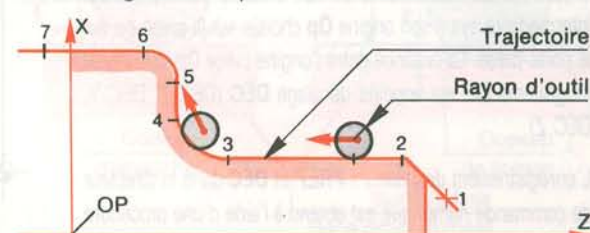
Interpolation linéaire G01



Interpolation circulaire G02-G03



Contournage dans le plan G01- G02 - G03



61.5 Notion de correcteur

■ Fraisage - Correction de longueur, de rayon

Les longueurs d'outils L , ou leurs différences H , et les rayons R doivent être mesurés et introduits dans le D.C.N. Deux méthodes sont utilisées. La première consiste à mesurer les longueurs d'outils $L_1, L_2, L_3 \dots$ et les rayons $R_1, R_2, R_3 \dots$ à l'aide d'un banc de pré réglage. La deuxième consiste à utiliser la machine à commande numérique comme machine à mesurer.

Les outils ne servant pas au contourage ont pour rayon $R = 0$.

■ Détermination des correcteurs de longueur sans utiliser de banc de pré réglage (exemple fig. 1)

Le premier outil $T1$ est utilisé pour effectuer la prise d'origine, laquelle est obtenue suivant l'axe Z en faisant coïncider la face de cet outil avec le plan $Z0$. Le correcteur $H1$ de ce premier outil a pour valeur zéro.

Le deuxième outil $T2$ est plus court. La valeur du correcteur $H2$ est égale à la différence des positions lues sur la vis entre l'outil $T1$ pris comme référence et l'outil $T2$ considéré ; cette valeur est négative.

■ Tournage - Jauge-outil - Préf (fig. 2)

Les jauges de l'outil $T1$ mesurées à l'aide d'un banc de pré réglage sont égales à J_1Z et J_1X .

Une opération de chariotage donne les valeurs suivantes :

$XT1, ZT1$ (lues sur la vis) ;

$L, \varnothing/2$ (mesurées sur la pièce) ;

$PRÉF Z = -(L + ZT1 + J_1Z)$;

$PRÉF X = -(\varnothing/2 + XT1 + J_1X)$;

Les valeurs de $J_1Z ; J_1X ; R ; PRÉF Z ; PRÉF X$ sont introduites dans le D.C.N.

■ Correction de rayon en fraisage

Le principe du correcteur de rayon permet d'effectuer successivement avec un même outil une ébauche et une finition sans modifier le programme. Il est également utile pour compenser l'usure de la fraise ou pour changer d'outil.

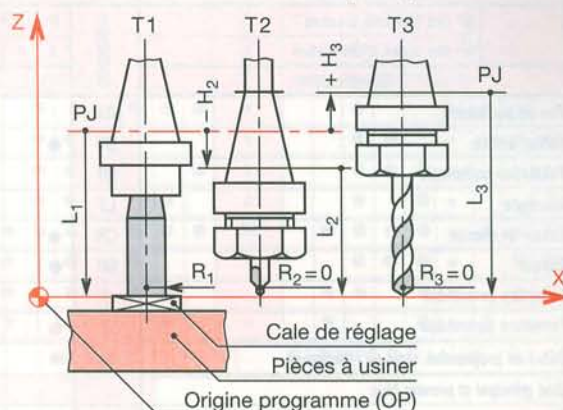
EXEMPLE (fig. 3) :

Pour réserver un copeau de finition d'épaisseur $e = 0,3$, l'outil d'ébauche $T1 \varnothing 30$ aura pour correcteur :

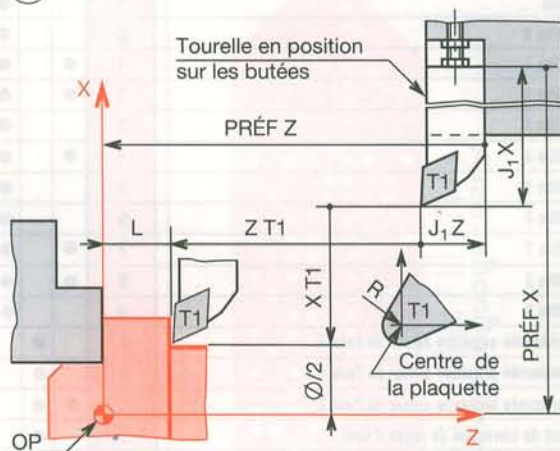
$$R01 = R + e = 15 + 0,3 = 15,3.$$

Ce rayon fictif est pris en compte par le D.C.N. qui calcule la trajectoire d'ébauche décalée de 0,3 par rapport à la trajectoire de finition. L'outil de finition $T1$ aura pour correcteur $R02 = 15$.

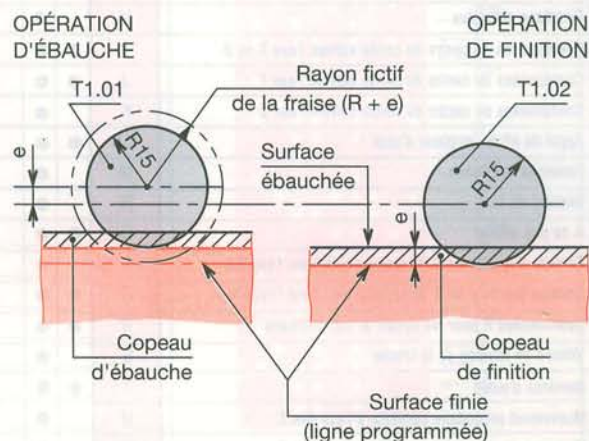
① FRAISAGE - CORRECTION DE LONGUEUR ET DE RAYON - JAUGE-OUTIL (L et R)



② TOURNAGE - JAUGE-OUTIL - PRÉF



③ FRAISAGE - CORRECTION DE RAYON



61.6

CODIFICATION DES BANDES PERFORÉES SELON LES CODES ISO ET EIA

Tableau des codes		ISO - DIN 66 024										EIA 244									
	N° des éléments binaires	Caractère	P*	7	6	5	4		3	2	1	Caractère	8	7	6	P*	4		3	2	1
	N° des pistes d'information		8	7	6	5	4	T**	3	2	1		8	7	6	5	4	T**	3	2	1
Signification		Perforations										Perforations									
Pas de perforation		NUL						•				Pas de perforation						•			
Retour arrière		BS	•					•	•			RT			•		•	•		•	
Tabulation horizontale		HT						•	•		•	TAB			•	•	•	•	•	•	
Interligne		LF						•	•		•	<≡	•					•			
Retour de chariot		CR	•					•	•	•	•	LC		•	•	•	•	•		•	
Espace		SP	•		•				•			ZWR			•			•			
Ouverture parenthèse	(	(			•		•	•				(		•		•	•	•			
Fermeture parenthèse	)	)	•		•		•	•			•	)		•	•	•	•	•		•	
Début de programme, arrêt du rebobinage	%	%	•		•				•	•	•	=					•	•		•	•
Bloc principal et premier bloc	:	:			•	•	•	•			•	.		•	•	•	•	•		•	•
Bloc optionnel	/	/	•		•		•	•	•	•	•	/			•	•			•		•
Plus	+	+			•		•	•		•	•	+		•	•	•		•			
Moins	-	-			•		•	•	•		•	-		•				•			
Chiffre 0	0	0			•	•		•				0			•			•			
Chiffre 1	1	1	•		•	•		•			•	1						•			•
Chiffre 2	2	2	•		•	•		•		•		2						•		•	
Chiffre 3	3	3			•	•		•		•	•	3				•		•		•	•
Chiffre 4	4	4	•		•	•		•	•			4						•	•		
Chiffre 5	5	5			•	•		•	•		•	5			•			•	•		•
Chiffre 6	6	6			•	•		•	•	•		6			•			•	•	•	
Chiffre 7	7	7	•		•	•		•	•	•	•	7						•	•	•	•
Chiffre 8	8	8	•		•	•	•	•				8				•		•			
Chiffre 9	9	9			•	•	•	•			•	9				•	•	•			•
Coordonnée angulaire autour de l'axe X	A	A		•					•		•	a		•	•			•			•
Coordonnée angulaire autour de l'axe Y	B	B		•					•		•	b		•	•			•		•	
Coordonnée angulaire autour de l'axe Z	C	C	•	•					•		•	c		•	•	•		•		•	•
Appel de correction de rayon d'outil	D _r	D _r	•		•				•	•		d		•	•			•	•		
Deuxième vitesse d'avance	E	E	•	•					•	•	•	e		•	•	•		•	•	•	•
Vitesse d'avance	F	F	•	•					•	•	•	f		•	•	•		•	•	•	•
Fonction préparatoire	G	G		•					•	•	•	g		•	•			•	•	•	•
Fonctions spéciales	H	H		•				•	•			h		•	•		•	•			
Coordonnées du centre du cercle suivant l'axe X ou B	I	I	•	•			•	•			•	i		•	•	•	•	•			•
Coordonnées du centre du cercle suivant l'axe Y	J	J	•	•			•	•			•	j		•		•		•			•
Coordonnées du centre du cercle suivant l'axe Z	K	K		•			•	•		•	•	k		•		•		•			•
Appel du n° de longueur d'outil	L _o	L _o	•	•			•	•		•		l		•				•		•	•
Fonctions auxiliaires	M	M		•			•	•	•	•	•	m		•		•		•	•		•
Numéro de bloc	N	N		•			•	•	•	•	•	n		•				•	•		•
A ne pas utiliser	O	O	•	•			•	•	•	•	•	o		•				•	•	•	•
Cosinus directeur en X du rayon d'outil dans l'espace	P	P		•		•			•			p		•		•		•	•	•	•
Cosinus directeur en Y du rayon d'outil dans l'espace	Q	Q	•	•		•			•		•	q		•		•	•	•			
Coordonnées R pour les cycles et interpolations	R	R	•	•		•			•		•	r		•		•		•			•
Vitesse de rotation de la broche	S	S		•					•		•	s			•			•		•	
Numéros d'outils	T	T	•	•		•			•	•		t			•			•		•	•
Mouvement secondaire parallèle à l'axe des X	U	U		•		•			•	•	•	u			•	•		•			
Mouvement secondaire parallèle à l'axe des Y	V	V		•		•			•	•	•	v			•			•	•		•

* P = Élément de parité

** T = Piste de parité (Le nombre de perforations est pair pour le code ISO, Impair pour le code EIA).

61 ■ 8 FONCTIONS PRÉPARATOIRES G ET AUXILIAIRES M POUR ARMOIRES NUM

TOURNAGE (Armoires NUM 720T - 760T)		FRAISAGE (Armoire NUM 720F - 760F)	
Code	Désignation	Code	Désignation
G0	Interpolation linéaire en rapide	G0	Interpolation linéaire en rapide
G01 *	Interpolation linéaire à la vitesse programmée	G01 *	Interpolation linéaire à la vitesse programmée
G02	Interpolation circulaire sens antitrigonométrique	G02	Interpolation circulaire sens antitrigonométrique
G03	Interpolation circulaire sens trigonométrique	G03	Interpolation circulaire sens trigonométrique
G04	Temporisation programmable avec F	G04	Temporisation programmable avec F
G09	Arrêt précis en fin de bloc	G09	Arrêt précis en fin de bloc
G33	Cycle de filetage à pas constant	G10	Arrêt d'usinage (signal butée fin de bloc)
G38	Filetage enchaîné sur cône	G16	Définition de l'axe de l'outil avec PQR
G40 *	Annulation de la correction de rayon	G17 *	Choix plan XY pour interpolation circulaire
G41	Correction de rayon d'outil à gauche du profil	G18	Choix plan ZX pour interpolation circulaire
G42	Correction de rayon d'outil à droite du profil	G19	Choix plan YZ pour interpolation circulaire
G52	Programmation absolue (origine mesure)	G40 *	Annulation de la correction de rayon
G53	Suspension du zéro programme / au zéro machine	G41	Correction de rayon (outil à gauche du profil)
G54	Validation du zéro programme / au zéro machine	G42	Correction de rayon (outil à droite du profil)
G59	Décalage d'origine programme	G45	Cycle de poche
G64	Cycle d'ébauche paraxial	G51	Validation ou invalidation (fonction miroir)
G65	Cycle d'ébauche de gorge	G52	Programmation absolue (origine mesure)
G66	Cycle de défonçage	G53	Invalidation des décalages PRÉF et DEC1
G70	Entrée des données en pouce	G54	Validation des décalages PRÉF et DEC1
G71 *	Entrée des données en métrique	G59	Décalage d'origine programme
G75	Validation d'un sous-programme de dégagement d'urgence	G70	Entrée des données en pouce
G77	Appel inconditionnel d'un sous-programme ou de blocs	G71	Entrée des données en métrique
G79	Saut à une séquence sans retour (conditionnel ou inconditionnel)	G73	Annulation du facteur d'échelle
G80	Annulation de cycle d'usinage	G74	Validation du facteur d'échelle
G83	Cycle de déburrage	G77	Appel inconditionnel d'un sous-programme ou de blocs
G87	Cycle de perçage avec brise-copeaux	G79	Saut à une séquence sans retour (conditionnel ou inconditionnel)
G90 *	Programmation absolue / à l'origine programme	G80 *	Annulation de cycle d'usinage
G91	Programmation relative / au point de départ du bloc	G81	Cycle de perçage centrage
G92 **	Limitation de la vitesse de broche (avec S)	G82	Cycle de perçage chambrage
G92	Présélection de l'origine programme (avec X ou Z)	G83	Cycle de perçage avec déburrage
G94 *	Vitesse d'avance exprimée en mm/min	G84	Cycle de taraudage
G95	Vitesse d'avance exprimée en mm/tr	G85	Cycle d'alésage
G96	Vitesse de coupe constante	G86	Cycle d'alésage avec arrêt de broche
G97	Révocation de la vitesse de coupe constante	G87	Cycle de perçage avec brise-copeaux
M00	Arrêt programmé	G88	Cycle d'alésage et dressage de face
M01	Arrêt optionnel	G89	Cycle d'alésage avec arrêt temporisé
M02	Fin de programme de la pièce	G90 *	Programmation absolue (origine programme)
M03	Rotation broche sens antitrigonométrique	G91	Programmation relative (point de départ bloc)
M04	Rotation broche sens trigonométrique	G93	Vitesse d'avance en inverse du temps V/L
M05	Arrêt broche	G94 *	Vitesse d'avance en mm/min
M06	Changement d'outil	REMARQUE : Les fonctions auxiliaires M de ces armoires sont identiques à celles des NUM 720T et 760T.	
M07	Arrosage n°2		
M08	Arrosage n°1		
M09	Arrêt des arrosages		
M19	Indexation broche	M40 à M45	6 gammes de vitesse de broche
M40 à M42	3 gammes de broche	M60	Déchargement palette
		M61	Chargement palette

* Fonctions initialisées à la mise sous tension.

** Fonctions communes pour NUM 720 - 760T et F.

61.9

FONCTIONS PRÉPARATOIRES G - CYCLES

		Exemples	
Code	Désignation	Programme	Schéma
G0	Interpolation linéaire en rapide	% 1 (NUM 460 T) N10 T101 M6 S400 M41 M4 0) N20 G0 G70 X0 Z0 1) N30 X40000 Z152000 2) N40 G1 Z60000 F100 3) N50 X82000 0) N60 G0 G70 X0 Z0 N70 M2	
G01	Interpolation linéaire à vitesse programmée	% 2 (NUM 720F-760F) 0) N5 T2 D2 S1000 M42 M3 1) N10 G0 X80 Y30 Z52 2) N15 G1 F100 Z45 (descente au pt 2 à 100 mm/min) 3) N20 X200 Y70 4) N25 F500 Z52 0) N30 G0 X300 Y200 Z200 N35 M2	
G02	Interpolation circulaire sens antitrigonométrique	% 3 (NUM 720F-760F) 0) N5 T3 D3 S1000 M42 M3 1) N10 G0 X60 Y30 Z52 2) N15 G1 F100 Z45 3) N20 G2 X200 R70 (interpolation circulaire de 2 à 3) 4) N25 G1 F500 Z52 0) N30 G0 X300 Y200 Z200 N35 M2	
G03	Interpolation circulaire sens trigonométrique	% 4 (NUM 720F-760F) 0) N5 T4 D4 S1000 M42 M3 1) N10 G0 X200 Y30 Z52 2) N15 G1 F100 Z45 3) N20 G3 X60 R70 (interpolation circulaire de 2 à 3) 4) N25 G1 F500 Z52 0) N30 G0 X300 Y200 Z200 N35 M2	
G04	Temporisation	N... G04 F10 (temporisation max = F99, soit 9,9 s)	
G33*	Cycle de filetage	% 5 (Num 460T)	
	Le bloc de G33 contient Z : longueur du cycle K : le pas R : le retrait F : profondeur de passe S : nombre de passes	0) N5 T505 M6 S800 M3 1) N10 G0 X21000 Z88000 N15 G33 Z-46000 K1500 R1000 F-200 S3 (appel et exécution du cycle) N20 F-150 S2 N25 F-20 S1 N30 F0 0) N35 G0 G70 X0 Z0 N40 M2	
		Filetage M20 x 3 Longueur 43 K = 1,5 R = 1 Z = - 46 88 Nombre de passes = 20/3 x h ; h = 0,613 pas	

* Cycle de filetage avec NUM 720T, 760T (voir page 257).

FONCTIONS PRÉPARATOIRES G - CYCLES

Code	Désignation	Exemples	
		Programme	Schéma
G40	Annulation G41-G42	Voir les deux exemples suivants	
G41	Correction de rayon (outil à gauche du profil)	% 6 (NUM 720F-760F) N5 T1 D1 S320 M41 M3 1) N10 G0 X-16 Y-16 Z35 N15 G1 F1000 Z-2 2) N20 G41 X0 F190 (correcteur à gauche) 3) N25 Y0 4) N30 G2 X52 Y52 R52 5) N35 G1 X68 6) N40 G40 Y68 (annulation G41) N45 G0 Z200 N50 M2	
G42	Correction de rayon (outil à droite du profil)	% 7 (NUM 720F-760F) N5 T2 D2 S320 M41 M3 1) N10 G0 X68 Y68 Z35 N15 G1 F1000 Z-2 2) N20 G42 Y52 F190 (correcteur à droite) 3) N25 X52 4) N30 G3 X0 Y0 R52 5) N35 G1 Y-16 6) N40 G40 X-16 (annulation G42) N45 G0 Z200 N50 M2	
G64	Cycle d'ébauche paraxial	Voir exemples pages 255 et 256	
G77	Appel sous-programme	Voir exemples pages 255 et 256	
G79	Saut à une séquence	Voir exemple page 255	
G80	Annulation des cycles	Voir exemples suivants	
G83	Cycle de perçage - débourrage	% 8 (NUM 460T) N5 T303 S1000 M41 M3 M6 N10 G0 X0 Z91000 (pt 0) 0 à 7) N15 G83 Z13000 R22000 F250 8) N20 G80 X100000 Z200000 N25 M2 Voir page 250	
G84	Cycle d'ébauche de dressage	% 9 (NUM 460T) N5 G0 G70 X0 Z0 Num 460T : N10 T404 M6 S1000 M41 N15 G92 * X500 Z200 (décalage d'origine) 1) N20 G0 X47000 Z57000 2) N25 G84 X13000 R4000 F3000 3) N30 G2 X28000 Z42000 I15000 K0 ** 4) N35 G1 Z30000 5) N40 X47000 Z24412 N45 G80 G0 X100000 Z100000 N50 M2	

* Le décalage d'origine G92 assure une réserve d'usinage (ex. : 0,5 au rayon et 0,2 sur les faces).

** Le référentiel IK situé au point de départ 2 positionne le centre O du cercle de rayon 15.

FONCTIONS PRÉPARATOIRES G - CYCLES

Code	Désignation	Exemples	
		Programme	Schéma
G45	Cycle de poche	% 33 (Mors - NUM 720F) N75 T2 D2 M6 (foret Ø 8, coupe alu.) N76 S3800 M3 1) N80 G0 X31.875 Y-20 Z5 M8 1) N85 G81 X31.875 Y-20 Z-12 ER2 F300 N90 G0 G80 Z10 M5 M9 N95 G G52 Z D N100 T3 D3 M6 (fraise 2T, Ø 10, coupe alu.) N105 S3500 M3 N110 G0 X31.875 Y-20 N115 Z10 M8 1) N120 G45 X31.875 Y-20 Z-8 ER2 P3 Q1 I0.1 J0.1 EP150 EQ200 EI150 EJ200 EX40 EB6 (cycle de poche) N125 Z10 M5 M9 N130 G0 G52 Z D N135 G G52 X-105 Y0 (dégagement) N140 M2	
G51	Fonction miroir	% 2073 (Fiasque AR-NUM 720F) N1 G G52 Z D N5 T1 D1 M6 (fraise 2T, Ø 12, coupe alu.) N10 M3 S2000 M8 1) N15 Z1 Y30 X30 (éb. 1 ^{re} passe) 2) N17 Z-3.25 3) N20 G1 G41 F200 X9.43 4) N25 F200 Y17.67 5) N30 G3 X17.67 Y9.43 R8 6) N35 G1 X30 2) N40 G1 G40 Y30 7) N45 Z-6.5 (éb. 2 ^e passe) N50 G77 N20 N40 (ex. : blocs 20 à 40) 8) N55 Z-6.75 (finition) N60 G77 N20 N40 N65 Z30 9) N67 X-26.67 (saut de bride) N70 G51 X-(fonction miroir suivant X) N75 G77 N10 N65 10) N77 G Y-26.67 N80 G51 Y-(fonction miroir suivant Y) N85 G77 N10 N65 11) N86 G X+26.67 N90 G51 X+(annulation fonction miroir du bloc 70) N95 G77 N10 N65 N96 G51 Y+(annulation fonction miroir du bloc 70) N97 M5 M9 N100 G0 G52 X-150 Z D N105 M2	

FONCTIONS PRÉPARATOIRES G - CYCLES

Fonction	Désignation	Exemples	
		Programme	Schéma
G81	Cycle de pointage perçage	% 1 (NUM 720F-760F) 0) N5 T1 D1 S1000 M42 M3 N10 G81 R18 Z6 F65 (appel cycle) 1) N15 X48 Y22 (positionnement et perçage) N20 Z-4 (modification profondeur) 2) N25 X30 Y14 (perçage) N30 Z6 (modification profondeur) 3) N35 X10 Y8 (perçage) N40 G80 (annulation du cycle) 0) N45 G0 X200 Y200 Z100 N50 M2	
G82	Cycle de perçage chambrage	% 2 (NUM 720F-760F) 0) N5 T2 D2 S500 M41 M3 G0 Z100 N10 G04* F10 (Initialisation de la temporisation) N15 G82 R18 Z10 F35 (appel cycle) 2) N20 Y30 Y14 (positionnement et lamage) N25 G80 (annulation du cycle) 0) N30 G0 X200 Y200 Z100 N35 M2 *G04 est situé avant le bloc contenant G82	
G83	Cycle de perçage avec déburrage	% 3 (NUM 720F-760F) 0) N5 T3 D3 S1000 M42 M3 G0 Z100 N10 G83 R32 Z-4 P12 Q8 F60 (appel du cycle) 2) N15 X30 Y8 (positionnement et exécution du cycle) N20 G80 (annulation du cycle) N25 G0 X200 Y200 Z100 N30 M2	
G84	Cycle de taraudage	% 4 (NUM 720F-760F) 0) N5 T4 D4 S500 M41 M3 G0 Z100 N10 G84 R18 Z-3 F500 (appel du cycle) 2) N15 X30 Y14 (positionnement et taraudage) N20 G80 (annulation du cycle) N25 G0 X200 Y200 Z100 N30 M2	

* Le plan d'approche R devient ER pour le D.C.N. NUM 720F et 760F.

FONCTIONS PRÉPARATOIRES G - CYCLES

Fonction	Désignation	Exemples	
		Programme	Schéma
G85	Cycle d'alésage	% 5 (NUM 720F-760F) 0) N5 T1 D1 S400 M41 M3 N10 G85 R16 Z-4 F100 (appel cycle) 1) N15 X10 Y10 (mise en position et alésage 1) 3) N20 R30 (remontée à R2) N25 Z14 (fond alésage 2) 2) N30 X40 (mise en position et alésage 2) N35 G80 G0 X-200 Y200 Z100 N40 M2	Les 2 perçages $\varnothing 5,8$ sont déjà réalisés
G86	Cycle d'alésage avec arrêt broche	% 6 (NUM 720F-760F) 0) N5 T2 D2 S500 M41 M3 N10 G86 R43 Z-3 F50 (appel du cycle) 1) N15 X60 Y32 (mise en position et alésage) 0) N20 G80 G0 X200 Y200 Z100 N25 M2 REMARQUE : l'indexation de la broche permet le recul radial de l'outil (en position basse)	Nota : L'outil utilisé est une barre d'alésage
G87	Cycle de perçage avec brise-copeaux	% 7 (NUM 720F-760F) 1) N5 T3 D3 S1000 M42 M3 N10 G04 F10 (initialisation de la temporisation) N15 G87 R32 Z-4 P12 Q8 F60 (appel du cycle) 1) N20 X30 Y10 (mise en position et perçage) N25 G80 G0 X200 Y200 Z100 N30 M2	Nota : A chaque passe il y a un arrêt selon la temporisation
G90	Programmation absolue	% 8 (NUM 720F-760F) N5 T4 D4 M3 M42 S1000 1) N10 G90 X8 Y10 Z2 N15 G1 F300 Z-0.5 2) N20 X48 3) N25 Y30 N30 G0 Z200 M5 N35 M2	

* Le plan d'approche R devient ER pour le D.C.N. NUM 760F.

FONCTIONS PRÉPARATOIRES G ET CYCLES

Fonction	Désignation	Exemples	
		Programme	Schéma
G91	Programmation relative	% 9 (armoire NUM 720F-760F) N5 T4 D4 M3 M42 S1000	
La position relative de l'axe de la broche est définie par rapport au point précédent qui devient référentiel	1) N10 G90 X8 Y10 Z2		
	N15 G1 F300 Z-0.5		
	2) N20 G91 X40 Y0		
	3) N25 X0 Y20		
N30 G90 G0 Z200			
N35 M2			
REMARQUE : le point (1) est défini en absolu par rapport à OP. Le point (2) est défini en relatif par rapport à (1). Le point (3) est défini en relatif par rapport à (2).			
G92	Limitation vitesse (s) de broche	- Programmation de l'avance tangentielle (avec R). - Présélection de l'origine programme (avec X ou Z).	

61 ■ 10 SAUT DANS UN PROGRAMME - RÉPÉTITION - BLOC OPTIONNEL (NUM 560F)

Instruction	Signification
N200/5	Exécution du bloc N5 situé antérieurement dans le programme
N200/5; 20	Exécution du bloc N5 à N20 inclus
N200+ 20/5	Vingt exécutions du bloc N5
N200+ 10/5 X200	Dix exécutions du bloc N5 après le déplacement X200
N200+ 2 X10 Y20	Deux exécutions du bloc N200 après le déplacement X10 Y20
/N200...	Bloc optionnel à valider par l'opérateur sur le pupitre de commande

61 ■ 11 SOUS-PROGRAMME

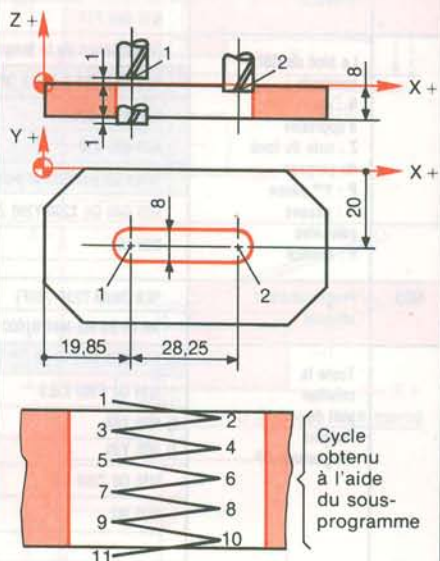
Un sous-programme est une partie du programme pouvant être appelée une ou plusieurs fois, afin d'exécuter des opérations répétitives. Il est défini en fin de programme après le M2.

EXEMPLE : Usinage d'une rainure (NUM 560F)

%9	(rainure)
N5	T2.02 S1500 M3 M42
1) N10	G0 X19.85 Y-20 Z1
N15	G1 F150
N20	* 5/.1 (5 appels du sous-programme .1)
N25	G90 F1000 Z5 (retour en absolu)
N30	G0 Z100 (dégagement en Z)
N35	M2
2) H5.1	G91 X28.25 Z-1
1) H10	X-28.25 Z-1
H999	

REMARQUE : Le programme ci-dessus incluant le sous-programme (.1) permet l'usinage de la rainure en cinq allers et retours.

Instruction	Signification
N20/.1	Appel du sous-programme .1
H 5.1 G91 X28.25...	Première ligne du sous-programme
H999	Fin du sous-programme



61.12

PROGRAMMATION PARAMÉTRÉE

Généralités :

La programmation paramétrée a pour objet de rendre universel un programme concernant des pièces similaires mais différentes.

Les paramètres programmés sont des fonctions qui peuvent être affectées à toutes les adresses à la place de valeurs numériques.

Les paramètres sont utilisés pour la programmation des familles de pièces de formes semblables. Ils sont également utilisés pour donner plus de souplesse aux programmes contenant des données variables, on peut changer des valeurs numériques sans modifier le programme.

Paramétrage avec les armoires NUM 720-760T ou F

Les variables programme L sont au nombre de 120 : de L0 à L19 et de L100 à L199. Elles peuvent avoir une valeur fixe ou une valeur résultant d'une opération +, -, *, /, sin(s), etc.

Exemples :

$L2 = 5$; $L1 = L2 + 5.3 * 3 + S30^*$ équivaut à $L1 = 15.45$

Paramétrage des jauges-outil :

% 2073 (Flasque AR-NUM 720F)

E50001 = 48 103 (Jauge-outil T1, L = 48.103)

E52001 = 5 000 (Jauge-outil T1, R = 5)

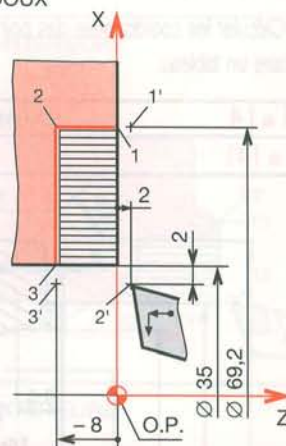
EXEMPLE 1 : Tournage - Armoires NUM 720T-760T

USINAGE DE MORS DOUX	N75 G79** N110
% 3101 (NUM 720T)	1') N80 G1 G41 XL1 ZL2
N10 L1 = 69.2	2) N90 ZL4
N20 L4 = -8	3) N100 XL5 ZL4
N30 L5 = 35	N110 G64*** N100 N80 I-.2 K.2 P1
N40 L2 = 2	3') N120 XL9 ZL4 G95 F.2
N50 L9 = 31	2') N130 ZL2
N70 G77 H102	1') N140 XL1
N80 M2	N150 G80
	2') N160 G1 G42 XL9 ZL2 F.2
% 102	2') N170 G96 S100 XL9
N10 G0 G52 X Y	1') N180 G1 G41 G95 F.2 XL1 ZL2
N20 T7 D7 M6	2) N190 F.05 ZL4
N30 S1500 M42 M3 M8	3') N200 XL9
N40 G92 S2500	2') N210 G0 G40 ZL2
N60 X14 Z2	N220 G80
N70 G96 X14 S100	N230 G52 G X Z

USINAGE DE MORS DOUX

	X	Z
1'	L1	L2
2	L1	L4
3	L5	L4
3'	L9	L4
2'	L9	L2

	X	Z
1'	69,2	2
2	69,2	-8
3	35	-8
3'	31	-8
2'	31	2



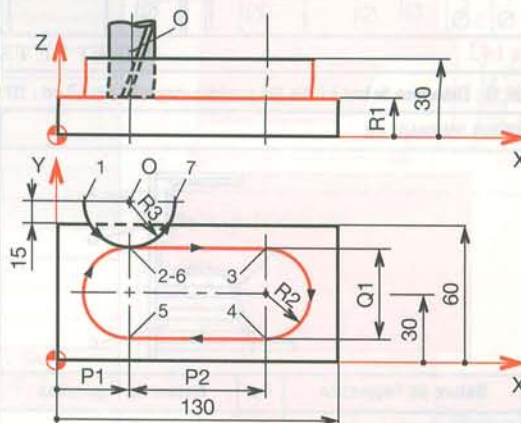
EXEMPLE 2 : Fraisage - Armoire NUM 560F

Soit une famille de pièces, des poinçons comportant un détournage à dimensions variables.

L'extrait de programme suivant correspond à la finition du détournage :

% 13 (Alcéra-Gambin - NUM 560F)
N505 P1 = 35 P2 = 60 R1 = 15 R2 = 18 R3 = 27
N510 G74 G0 X-300 Y-300 Z+50
N515 T2.02 S500 M41 M3
0) N520 G0 X = P1 Y75 Z32
N525 G1 F1000 Z = R1
1) N530 G91 G41 X = - R3 Y0 F500
2) N535 G3 R = R3 Y = - R3 R = R3 F150
3) N540 G1 X = P2
N542 Q1 = R2 + R2
4) N545 G2 X0 Y = - Q1 R = R2
5) N550 G1 X = - P2
6) N555 G2 X0 Y = Q1 R = R2
7) N560 G3 X = R3 Y = R3 R = R3
0) N565 G40 X = - R3
N570 G90 G0 Z100
N575 M2

USINAGE D'UN POINÇON



Les paramètres P1, P2, R1, R2, R3 correspondant à des dimensions indépendantes, sont définis en début de programme. Les paramètres correspondant à des dimensions liées entre elles sont définis à l'intérieur du programme, soit, par exemple, $Q1 = R2 + R2$ qui est situé en ligne 542.

* S30 = Sinus 30° = 0.5. ** G79 : saut inconditionnel à la séquence N110. *** G64 : cycle d'ébauche paraxial.

61.13

PROCESSUS D'ÉTUDE DE FABRICATION EN C.N.

- 1° Étudier le dessin de définition de la pièce à usiner.
- 2° Faire un avant-projet d'étude de fabrication en groupant toutes les opérations pouvant être faites en C.N.

3° Étudier la ou les phases C.N.

- Schématiser le montage en pensant à la mise en position et au maintien en position de la pièce ainsi qu'aux passages des outils (attention aux brides).
- Établir un croquis de phase.
- Établir la liste des opérations à effectuer, dans l'ordre chronologique avec les outils.
- Calculer les coordonnées des points repérés des trajectoires. En faire un tableau.

- Choisir les conditions de coupe (V , n , p , f), les sens de rotation.

- Traduire en langage de programmation manuelle toutes les informations utiles à la machine sur un bordereau de programmation ou en programmation automatique avec l'assistance d'un ordinateur.

4° Tester le programme en « syntaxe »* en l'introduisant directement au pupitre dans le D.C.N. ou à partir d'une bande perforée obtenue sur le télétype.

5° Vérifier les trajectoires sur la vis (si l'armoire de commande comporte le logiciel adéquat).

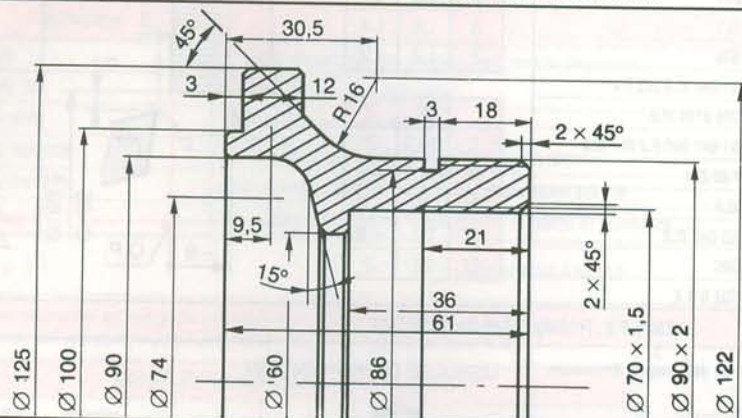
6° Tester le programme en semi-automatique (bloc à bloc) puis en automatique.

61.14

EXEMPLE DE PROCESSUS DE FABRICATION - TOURNAGE

61.141

DESSIN DE DÉFINITION



Chanfreins non cotés :
1 x 45°

Tolérance générale : ± 0,05

Matière : XC 38

État de surface général :
Ra 3,2

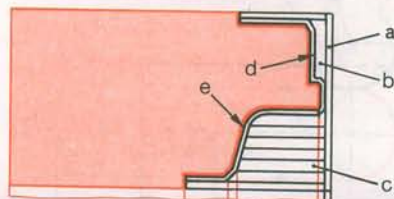
BAGUE FILETÉE

61.142

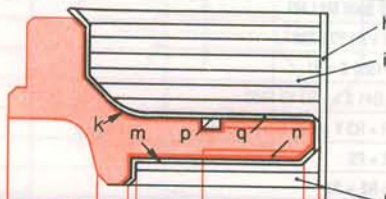
PROJET DE FABRICATION

PHASE 10 : Élaboration du brut à l'aide des procédés conventionnels $\varnothing$ ext : 127 ; $\varnothing$ int 58 ; lg. 64.

PHASE 20/1 TOURNAGE CN



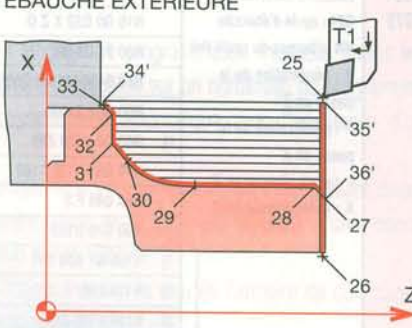
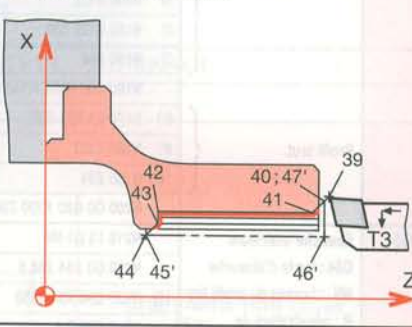
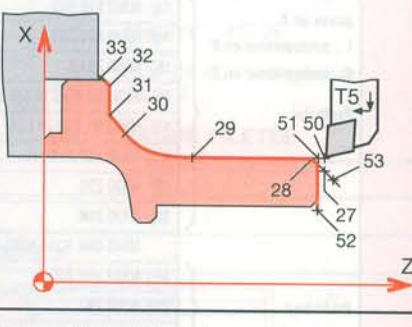
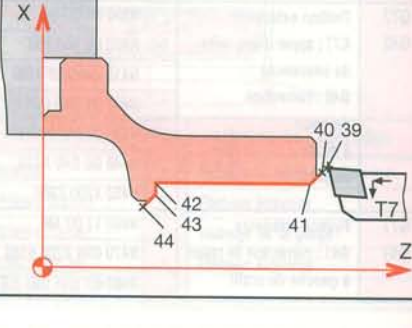
PHASE 20/2 TOURNAGE CN



Op.	Nature de l'opération	Op.	Nature de l'opération	Op.	Nature de l'opération	Op.	Nature de l'opération
a	Dressage ébauche	f	Retournement pièce	h	Dressage ébauche	m	Finition du profil intérieur
b	Ébauche extérieure (cycle)			i	Ébauche extérieure (cycle)	n	Filetage intérieur
c	Ébauche intérieure (cycle)			j	Ébauche intérieure (cycle)	p	Usinage de la gorge
d	Finition extérieure (cycle)			k	Finition extérieure (cycle)	q	Filetage extérieur
e	Finition intérieure (cycle)			l	Finition intérieure (cycle)		

* Syntaxe : le programme s'écrit en langage spécifique au directeur de commande numérique (D.C.N.) et ce langage obéit à des règles précises, d'où la notion de syntaxe.

BAGUE PHASE 20/1 (suite) ET PHASE 20/2 - NUM 720T

Fonction	Désignation	Programme	Schéma
G77	Finition intérieure (suite) G77 : appel d'une suite de séquences	13-20) N490 G77 N260 N330	ÉBAUCHE EXTÉRIEURE 
		N500 G0 G40 Z63	
		N510 G97 S1000	
		N520 G52 X Z D	
G64	Ébauche extérieure G64 : cycle d'ébauche NN : bornes du profil fini R : pénétration de la passe en Z P : pénétration de la passe en X I : surépaisseur en X K : surépaisseur en Z	N540 T1 D1 M6	ÉBAUCHE INTÉRIEURE 
		N550 M0 (retournement pièce)	
		N560 S400 M4 G59 Z0	
		N565 G92 S2000	
		25) N570 X130 Z61.2 M8	
		N580 G96 X130 S160	
		26) N590 G1 X56 F300	
		27) N600 G0 X84 Z62	
		N610 G1 G95 F.3	
		N620 G79 N690	
	Profil fini	28) N630 X90 Z59	
		29) N640 Z30.5	
		30) N650 G2 R16 X99.186 Z19.186	
		31) N660 G1 X107.744 Z15	
		32) N670 X123	
		33) N680 X126 Z13.5	
		N690 G64 N680 N630 P2 I.2 K.2	
	Profil brut	34) N700 G1 X130 Z13.5	
		35) N710 Z62	
		36) N720 X84 Z62	
		N730 G80 G0 Z200 X200	
G64	Ébauche intérieure G64 : cycle d'ébauche NN : bornes du profil fini R : pénétration de la passe en Z P : pénétration de la passe en X I : surépaisseur en X K : surépaisseur en Z	N740 T3 D3 M6	FINITION EXTÉRIEURE 
		39) N750 G0 X76.17 Z63	
		N760 G96 S150 X76.17	
		N770 G1 G95 F.3	
		N780 G79 N840	
		40) N790 X74.17 Z62	
		41) N800 X68.17 Z59	
		42) N810 Z25	
		43) N820 X62	
		44) N830 X58 Z23	
	Profil fini	N840 G64 N830 N790 P2 I.-2 K.2	
		45) N850 G1 X58 Z23	
		46) N860 Z62	
		47) N870 X74.17	
G77	Finition extérieure G41 : correction de rayon à gauche  G42 : correction de rayon à droite 	N875 G0 G80 Z62	FINITION INTÉRIEURE 
		N880 G0 X200 Z200	
		N890 T5 D5 M6	
		50) N900 G0 X92 Z62	
		51) N910 G41 F.2 X90 Z61	
		52) N920 X66	
		53) N930 G0 G40 X82 Z63	
		N940 G1 G95 F.2	
		27) N950 G42 X84 Z62	
		28-33) N960 G77 N630 N680	

BAGUE PHASE 20/2 (suite) - NUM 720T

Fonction	Désignation	Programme	Schéma
G77	Finition intérieure G77 : appel d'une suite de séquences Voir croquis page précédente	N970 G0 G80 X200 Z200	FILETAGE INTÉRIEUR ET GORGE
		N980 T7 D7 M6	
		39) N990 G0 X76.17 Z63	
		N1000 G96 X76.17 S180	
		N1010 G95 F.2 G41	
		40-44) N1020 G77 N790 N830	
		N1025 G0 G80 G40 Z62	
G33	Filetage intérieur et gorge G33 : cycle de filetage XZ : coordonnées de la fin du filetage K : pas P : profondeur du filet Q : profondeur de la dernière passe EB : 1/2 angle S : nb. de passes R : longueur du cône	N1040 T8 D8 M6	FILETAGE EXTÉRIEUR
		N1050 G97 S500 M3 M8	
		55) N1060 G0 X68.17 Z64	
		56) N1070 G33 X68.17 Z40 Q.02	
		K1.5 P.92 EB30 S6 R1.5	
		N1080 G0 G52 XZ D M5	
		N1090 T6 D6 M6	
		58) N1100 G0 X92 Z40 S425 M4	
		59) N1110 G1 F80 X86	
		58) N1120 G0 X92	
G33	Filetage extérieur G33 : cycle de filetage	N1130 G0 G52 XZ D M5	
		N1140 T2 D2 M6	
		N1150 G97 S500 M3 M8	
		60) N1155 G0 X94 Z65	
		61) N1160 G33 X90 Z41 K2	
		P1.06 Q.06 EB30 S8 R2	
		N1170 G0 G52 XZ D	
		N1180 M2	

61 ■ 15

EXEMPLE DE PROCESSUS DE FABRICATION - CENTRE D'USINAGE 3 AXES 1/2

Phase 00

Débit (brut étiré 80 × 30 × 140).

Phase 10

Fraisage conventionnel (prisme).

Phase 20

Fraisage, alésage, perçage, taraudage sur centre d'usinage à axe horizontal.

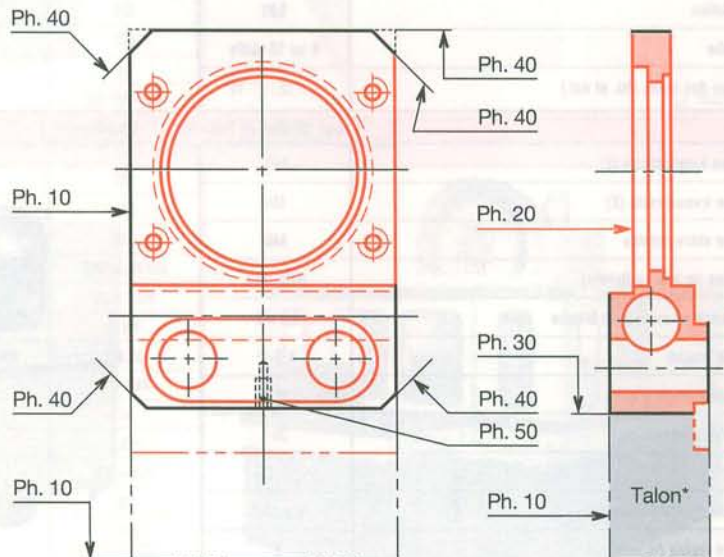
Phase 30

Fraisage conventionnel (découpe du talon).

Phase 40

Fraisage conventionnel (chanfreins).

Phase 50

Perçage, taraudage ($\varnothing 1/4"$).

* Le talon sert à la prise de pièce en phase 20.

61 ■ 16

TOURS À COMMANDE NUMÉRIQUE

Tour Ernaut® HES 300

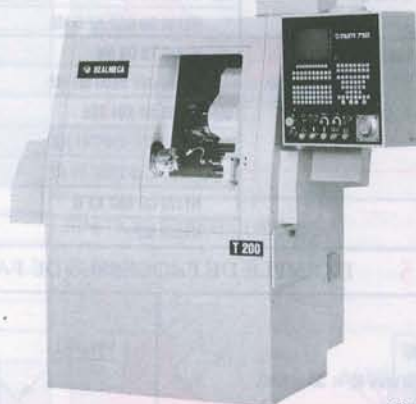
Course longitudinale (Z)	730
Course transversale (X)	240
Distance entre-pointes	800
Vitesses de broche (tr/min)	66 à 3680
Puissance du moteur de broche	15 kW
Nez de broche	A1-6" Ø 52
Cône de broche	Morse n° 6
Diamètre maximal sur banc	345
Diamètre maximal sur coulisse	160
Avances travail	—
Avance rapide (m/min)	8
Tourelle (nombre d'outils; section)	12; □ 25 × 25



Cl. H Ernaut

Tour Réalméca*** T200

Course longitudinale (Z)	300
Course transversale (X)	100
Course entre-pointes	365
Vitesses de broche (tr/min)	100 à 6000
Puissance du moteur de broche	8 kW
Serrage du mandrin	Ø 100
Serrage de la pièce	W31,5. F27. F38
Avances travail (mm/min)	1 à 5000
Avance rapide (m/min)	10
Résolution	0,01
Tourelle	8 ou 12 outils
Section des outils (int. et ext.)	□ 12; Ø 12



Cl. Réalméca

Tour Muller et Pesant*** Challenger 1

Course longitudinale (Z)	540
Course transversale (X)	150
Course entre-pointes	540
Vitesses de broche (tr/min)	4000 max
Puissance du moteur de broche	5,5 kW
Nez de broche	A 2-4"
Alésage dans la broche	36,5
Ø de passage	28
Mandrin	Ø125
Avances travail (mm/min)	0 à 1000
Avance rapide (m/min)	5
Tourelle (nombre d'outils; section)	6 à 8; □ 20 × 20



Cl. Muller et Pesant

* Ernaut-Toyoda. B. P. 47 - 78147 Vélizy.

** Réalméca. B. P. 10 - 55120 Clermont en Argonne.

*** Muller et Pesant - 59605 Maubeuge.

61. 17

FRAISEUSE ET CENTRES D'USINAGE À C. N.

Fraiseuse aléuse verticale et horizontale Alcera-Gambin* 61C

Course longitudinale X	800
Course transversale Y	490
Course verticale Z	630
Vitesse de broche (tr/min)	15 à 3890
Puissance du moteur de broche	10 kW
Cône de broche	ISO 40; ISO 50
Couple max (N.m)	660
Avance travail (mm/min)	1 à 5000
Avance rapide (m/min)	5
Précision : positionnement unidirectionnel	0,01
Précision : positionnement avec inversion	0,015
Précision : répétabilité	0,005
Précision : circularité	0,02
Table (rainures e = 14)	1300 x 400
Types de commande : Heidenhain-Num-Siemens	—



Cl. Alcera-Gambier/R. Pellet

Centre d'usinage vertical Réalméca* C200V

Course longitudinale X	215
Course transversale Y	170
Course verticale Z	210
Distance min et max table nez de broche	85-330
Vitesse de broche (tr/min)	300 à 6000
Puissance du moteur de broche	3 kW
Cône de broche	E25
Avance travail (mm/min)	1 à 10000
Avance rapide (m/min)	10
Résolution	0,001
Capacité du changeur d'outils	10 outils
Type d'outils	E25
Longueur max d'un outil	120
Ø max d'un outil	55
Type de commande NUM	720-750-760F



Cl. Réalméca

Centre d'usinage horizontal Vernier*** CH500

Course longitudinale X	750
Course transversale	550
Course verticale Y	450
Plateau indexé (continu en option)	360 positions
Vitesse de broche (tr/min)	30 à 3500
Puissance du moteur de broche	9 kW
Cône de broche	SA 40
Avance travail (mm/min)	1 à 4000
Avance rapide (m/min)	10
Résolution	0,001
Capacité du changeur d'outils	24 outils
Longueur max d'un outil	300
Ø max d'un outil adjacent	110
Surface des palettes	500 x 500
Type de commande NUM	760F



Cl. Vernier

* Alcéra-Gambin, B.P. 1 74250 Viuz en Sallaz.

** Réalméca, B.P. 10 - 55120 Clermont en Argonne.

*** Vernier, B.P. 63 - 06340 La Trinité.

62 Programmation géométrique de profil

62.1 Principe général

La programmation géométrique de profil permet d'écrire un programme en utilisant directement les cotes du dessin de définition*.

Elle effectue les calculs des points de raccordement, de contact ou d'intersection non définis entre deux éléments de parcours sur la pièce (ex. : droite-droite).

■ Cette programmation s'effectue en absolu (G90).

■ La programmation classique reste valable et peut être utilisée conjointement avec la P.G.P.

■ La programmation est réalisée par blocs. Chaque bloc comporte un élément géométrique.

■ Un élément géométrique peut être entièrement défini dans un bloc (cotes extrêmes d'une droite, points extrêmes d'un arc de cercle et coordonnées du centre) ou incomplètement défini. Si l'élément est incomplètement défini, le complément d'information se trouve dans le bloc suivant, ou éventuellement dans les deux blocs suivants.

FONCTION P.G.P. CARACTÉRISANT UN ÉLÉMENT			
Élément d'angle	EA	Discriminant	
Élément congé	EB+	ET ES	E+ ; E-
Élément chanfrein	EB-		
Élément tangent	ET		
Élément sécant	ES		

CONDITIONS D'APPLICATION DE LA P.G.P. :

■ Elle nécessite la correction de rayon G41 ou G42.

■ Elle s'applique dans l'un des trois plans d'interpolation XY, ZX, YZ.

■ Le premier et le dernier point de la trajectoire doivent être parfaitement définis.

62.2 Éléments géométriques

■ Élément d'angle EA

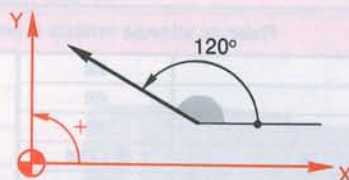
L'élément géométrique **EA** définit la position angulaire en degrés d'une droite par rapport à un axe de référence.

■ Élément congé EB+

L'élément géométrique **EB+** permet de raccorder deux éléments sécants par un arc de cercle tangent aux deux éléments.

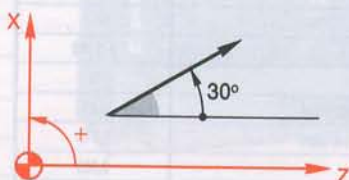
ÉLÉMENT D'ANGLE EA

Plan XY



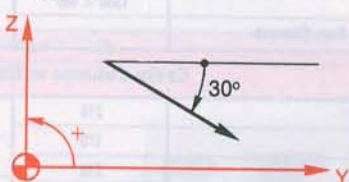
EA + 120
ou
EA - 240

Plan ZX



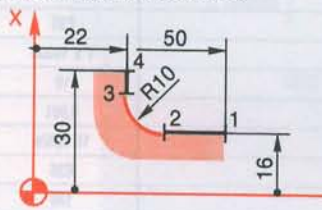
EA + 30
ou
EA - 330

Plan YZ



EA - 30
ou
EA + 330

ÉLÉMENT CONGÉ EB+ Raccordement droite-droite

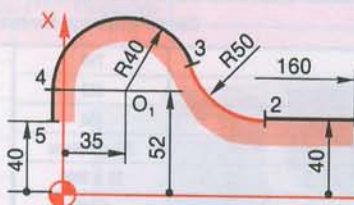


NUM 750 T

- 1) N50 G1 X32** Z50
- 2,3) N60 Z22 EB+ 10
- 4) N70 X60

Raccordement droite-cercle

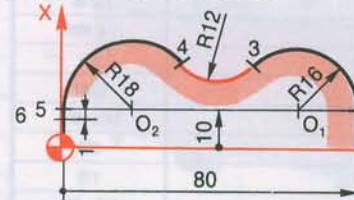
NUM 750 T



- 1) N50 G1 X80 Z160
- 2,3) N60 EA + 180 ES - EB + 50
- 4) N70 G3 I104 K35* R40
- 5) N80 G1 X80 Z - 5

Raccordement cercle-cercle

NUM 750 T



- 1) N50 G1 X0 Z80
- 2) N60 X20 Z80
- 3) N70 G3 I20 K64 R16
- 4) N80 G2 R12
- 5) N90 G3 I20 K18 R18
- 6) N100 G1 X18 Z0

* I et K : coordonnées du centre du cercle O₁ par rapport au référentiel (en tournage).

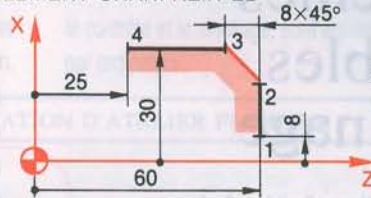
** Avec la NUM 750 T la valeur de X correspond au diamètre (R16 → X32).

■ Élément chanfrein EB -

L'élément géométrique **EB** - permet de raccorder deux droites sécantes par un chanfrein.

L'utilisation de l'élément **EB** - n'est valable que si les points 1 et 2 sont à égale distance du point programmé.

ÉLÉMENT CHANFREIN EB -



NUM 750 T

- 1) N50 G1 X16 Z60
- 2,3) N60 X60 EB - 8
- 4) N70 Z25

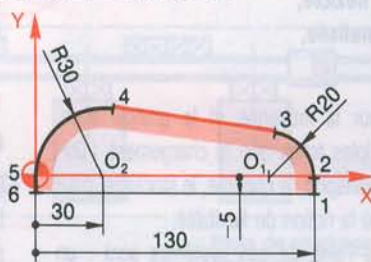
■ Élément tangent ET

L'élément géométrique **ET** rend tangent deux éléments, droite et cercle ou cercle et cercle.

Le bloc dans lequel est programmée cette fonction et le bloc suivant sont tangents.

La programmation de **ET** est obligatoire lorsque c'est la seule fonction du bloc qui caractérise l'élément géométrique, soit par exemple, une droite dont le point de départ est connu et tangente au cercle suivant ou une droite tangente à deux cercles.

ÉLÉMENT TANGENT ET



NUM 760 F

- 0) N40 Z10
- 1) N50 G1 X130 Y - 5 Z0
- 2) N60 Y0
- 3) N70 G3 I110 J0°. R20
- 4) N80 G1 ET
- 5) N90 G3 I30 J0 X0 Y0
- 6) N100 G1 Y-5

■ Élément sécant ES

L'élément géométrique **ES** permet de définir un point d'intersection entre deux éléments droite-droite, droite-cercle ou cercle-cercle.

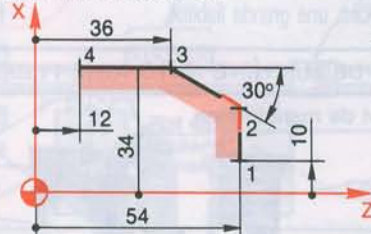
Lorsque deux éléments sécants ont un point d'intersection non programmé, la fonction **ES** est obligatoire dans la programmation du premier bloc.

Une fonction **ES** doit toujours être accompagnée d'une fonction **EA**.

Le bloc suivant doit contenir les coordonnées **XZ** et une fonction **EA**.

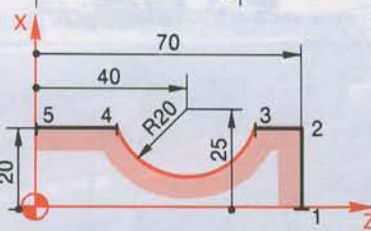
Une fonction **ES** ne peut être associée à une fonction **ET**. Le bloc dans lequel est programmée cette fonction et le bloc suivant sont sécants.

ÉLÉMENT SÉCANT ES



Droite-droite NUM 750 T

- 1) N50 G0 X20 Z54
- 2) N60 G1 EA90 ES
- 3) N70 EA150 X68 Z36
- 4) N80 X68 Z12



Droite-cercle NUM 750 T

- 1) N50 G0 X0 Z70
- 2) N60 G1 X40
- 3) N70 EA180 ES -
- 4) N80 G2 I50 K40** R20 ES +
- 5) N90 G1 EA180 X40 Z0

■ Élément discriminant E ±

Lorsque la programmation d'un bloc, ou d'un ensemble de blocs, laisse le choix entre deux solutions possibles le discriminant **E+** ou **E-** permet de lever l'indétermination.

La programmation du discriminant peut être incluse dans les fonctions **ET** et **ES**.

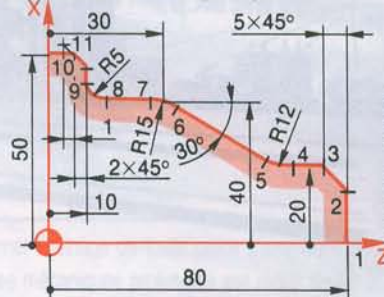
ET - est équivalent à ET E-.

ET+ est équivalent à ES E+.

ÉLÉMENT DISCRIMINANT E+ ; E-



EXEMPLE D'APPLICATION



NUM 750 T

- 1) N50 G1 X0 Z80
- 2,3) N60 X40 EB-5
- 4,5) N70 EA180 ES EB12
- 6,7) N80 EA150 X80 Z30 EB15
- 8,9) N90 Z10 EB5
- 10) N100 X96
- 11) N105 EA135 X102

EXEMPLES :

Figure 4 : Position d'un point par rapport à une droite.

Figure 5 : Exemple d'application global.

* I, J : coordonnées du centre du cercle O₁ par rapport au référentiel (en fraiseage).

** IK : coordonnées du centre du cercle par rapport au référentiel (en tournage).

63 Systèmes flexibles d'usinage

Il existe trois types de systèmes flexibles d'usinage :

- Machine* autonome flexible,
- Cellule flexible automatisée,
- Atelier flexible.

Ces moyens, adaptés pour la moyenne et la grande série, assument des tâches multiples telles que le chargement, l'usinage, le déchargement, le transport, le contrôle, le stockage, pour des pièces différentes, d'où la notion de flexibilité.

Les objectifs recherchés à l'aide de ces systèmes sont : un temps d'usinage minimal, des stocks tendant vers zéro, un délai court de restitution des pièces, une grande fiabilité.

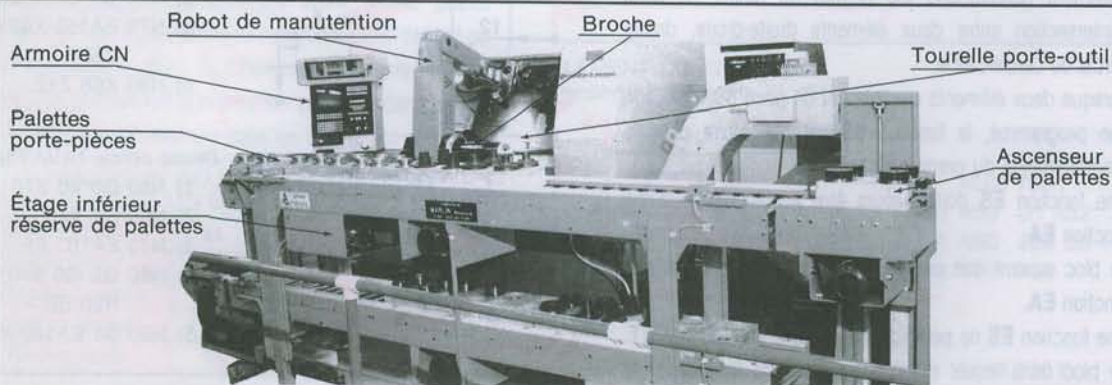
63. 1 Machine* autonome flexible

C'est une machine-outil à C.N. palettisée. Elle a une autonomie importante en étant dotée d'un carrousel de palettes pour le chargement et le déchargement des pièces, d'un ou de plusieurs magasins d'outils, d'un logiciel de multiprogrammation des pièces, des moyens d'auto-contrôle de reconnaissance de pièces ou de palettes et de détection de bris d'outils, d'usure d'outil. Elle est conçue pour s'intégrer dans une cellule flexible automatisée.

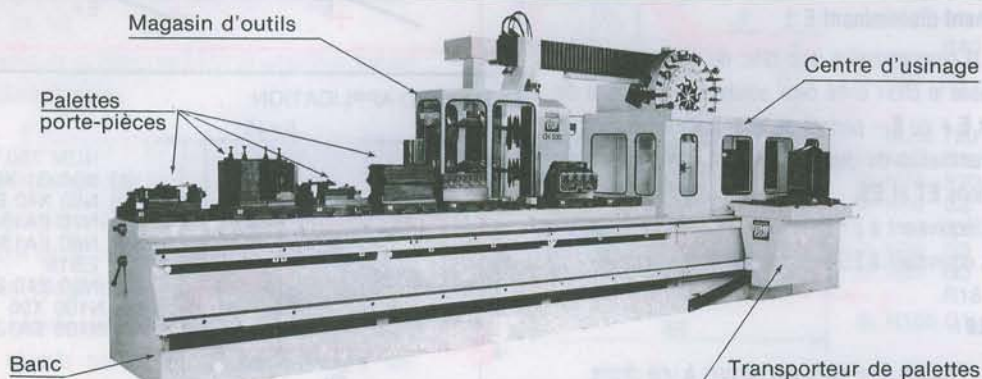
63. 2 Cellule flexible automatisée

C'est un système formé de plusieurs machines de types semblables ou non, liées entre elles par un dispositif de transfert de pièces. Son fonctionnement est entièrement autonome ; il est piloté par un système informatique coordonnant l'ensemble des fonctions à assurer.

63. 3 EXEMPLE DE MACHINE AUTONOME FLEXIBLE DE TOURNAGE : MULLER ET PESANT**



63. 4 EXEMPLE DE MACHINE AUTONOME FLEXIBLE DE FRAISAGE : VERNIER-GSP***



* Le mot « cellule » est également utilisé pour la machine autonome flexible.

** Muller et Pesant - 59605 Mauberge.

*** Vernier GSP - B.P. 63 - 06340 La Trinité.

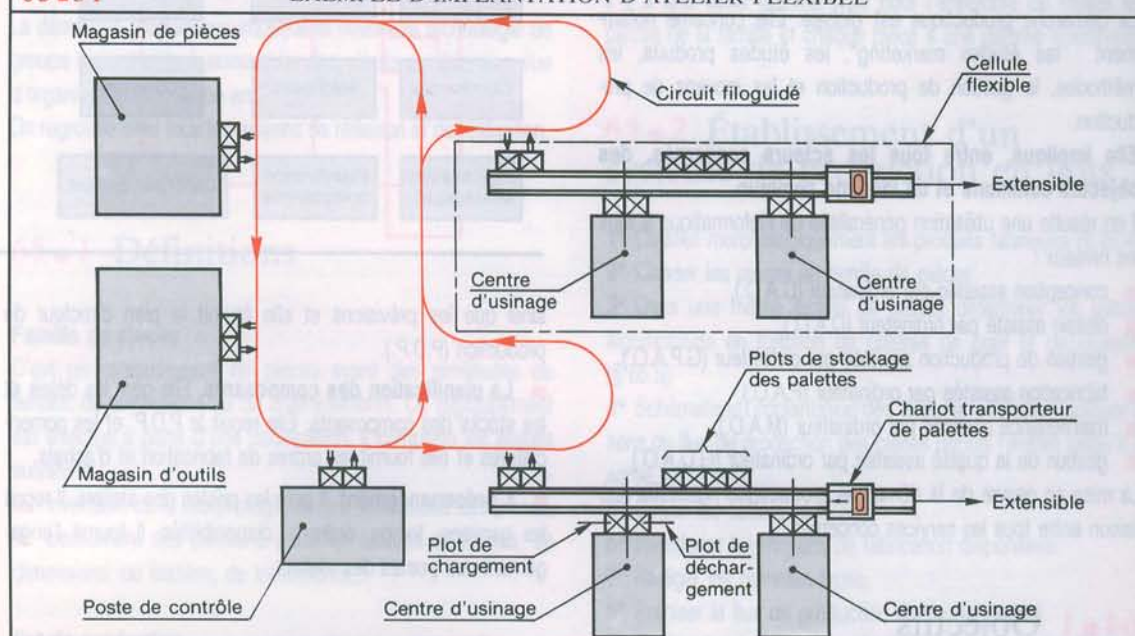
63.5 Atelier flexible

C'est un système complexe comportant plusieurs cellules flexibles automatisées. Le pilotage des machines, la manutention,

le contrôle et le stockage, sont entièrement automatiques et gérés par ordinateur.

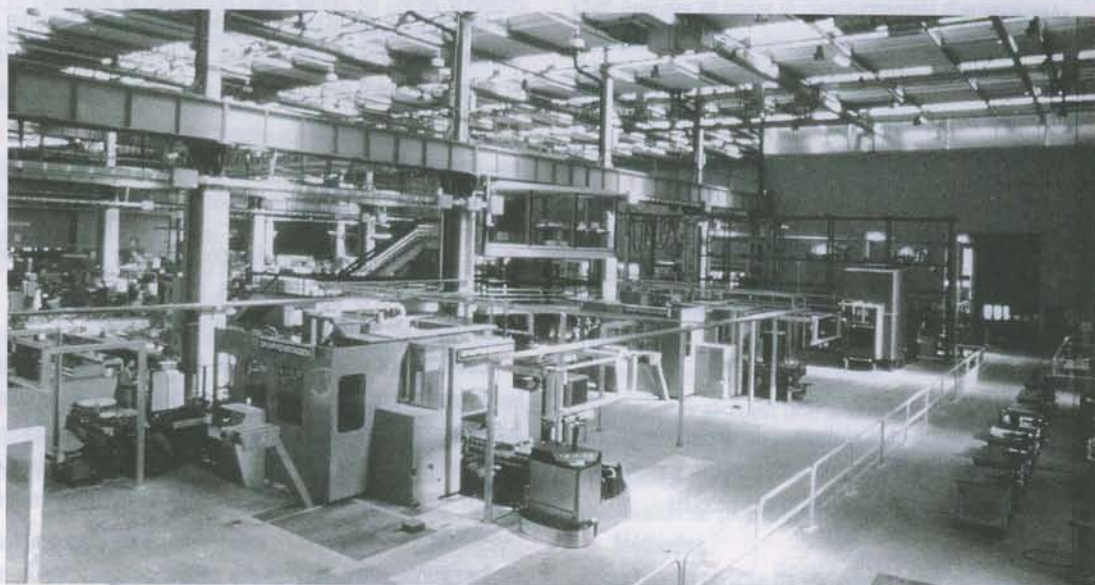
63.51

EXEMPLE D'IMPLANTATION D'ATELIER FLEXIBLE



63.52

EXEMPLE D'ATELIER FLEXIBLE : CITROËN-INDUSTRIE-MEUDON



Cet atelier flexible composé de deux cellules flexibles permet l'usinage de toute pièce s'inscrivant dans un cube de 500 de côté avec la précision du 1/100. Le délai de fabrication de pièces mécaniques prototypes est réduit de 35 jours à 8 jours.

64 Démarche productique

La démarche productique est globale. Elle concerne notamment : les études marketing*, les études produits, les méthodes, la gestion de production et les moyens de production.

Elle implique, entre tous les acteurs concernés, des objectifs communs et un langage commun.

Il en résulte une utilisation généralisée de l'informatique à tous les niveaux :

- conception assistée par ordinateur (C.A.O.),
- dessin assisté par ordinateur (D.A.O.),
- gestion de production assistée par ordinateur (G.P.A.O.),
- fabrication assistée par ordinateur (F.A.O.),
- maintenance assistée par ordinateur (M.A.O.),
- gestion de la qualité assistée par ordinateur (G.Q.A.O.).

La mise en œuvre de la démarche productique nécessite une liaison entre tous les services concernés.

64 ■ 1 Objectifs

Les objectifs ultimes sont :

- zéro défaut,
- zéro délai,
- zéro stock,
- zéro papier,
- zéro panne.

64 ■ 2 Principales fonctions

La démarche productique fait appel à quatre fonctions essentielles :

1 — CONCEPTION

Elle consiste en l'étude et la réalisation de documents pour la fabrication des produits. Elle reçoit les cahiers des charges et elle fournit les documents de définition des produits.

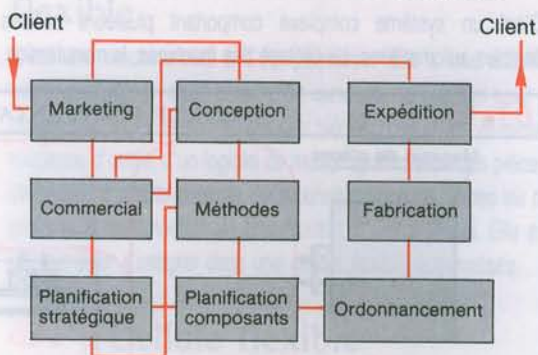
2 — GESTION DE PRODUCTION

Elle comporte notamment :

- **La planification stratégique.** Elle gère les délais et les stocks des produits finis. Elle reçoit les commandes des clients

* Expression usuelle, on devrait dire « mercatique ».

LIAISONS PRINCIPALES ENTRE LES SERVICES



ainsi que les prévisions et elle fournit le plan directeur de production (P.D.P.).

- **La planification des composants.** Elle gère les délais et les stocks des composants. Elle reçoit le P.D.P. et les nomenclatures et elle fournit les ordres de fabrication et d'achats.

- **L'ordonnancement.** Il gère les postes des ateliers. Il reçoit les gammes, temps, ordre et disponibilités. Il fournit l'engagement des postes des ateliers.

3 — MÉTHODES

Elles établissent les processus de fabrication, les gammes et les temps. Elles définissent notamment les moyens à mettre en œuvre. Elles reçoivent les dessins de définition des produits et elles fournissent des documents de fabrication.

4 — FABRICATION

Elle comporte en particulier :

- **Le suivi de production.** Il a pour tâche le suivi et la surveillance de l'exécution des ordres. Il reçoit les documents et programmes de fabrication et il fournit les données de suivi.

- **Les ateliers et les postes de fabrication.** Ils exécutent les différentes opérations de réalisation des pièces. Ils reçoivent les ordres de fabrication (O.F.) et les données techniques (par exemple, contrats de phase, programmes CN, fiches de réglage...). Ils fournissent différents états, notamment celui de l'avancement des travaux.

- **La maintenance.** En plus des actions de maintenance, elle contribue à la fiabilisation des moyens. Elle reçoit les messages des postes de fabrication et elle fournit les données de maintenance.

65 Technologie de groupe

La démarche productive implique la notion de technologie de groupe qui consiste à rassembler des pièces similaires en vue d'organiser la production en îlot.

On regroupe ainsi tous les moyens de réflexion et de réalisation.

65.1 Définitions

Famille de pièces

C'est un regroupement de pièces ayant des similitudes de formes, de dimensions ou de cheminements. Ce regroupement est effectué à partir d'une codification. Il comporte les étapes suivantes :

- inventaire de la morphologie et des dimensions des pièces,
- classement des pièces à partir de critères de formes, de dimensions, de matière, de traitements,...

Îlot de production

C'est un ensemble de machines regroupées dans un atelier pour permettre la fabrication d'une famille de pièces subissant tout ou partie de processus de fabrication semblables.

REMARQUES :

- Cette organisation est fondée sur la technologie de groupe. Elle résulte d'une action concertée entre les services des études produits, des méthodes, de la gestion de production et des moyens de production.
- Le bureau d'étude doit maîtriser, à l'aide d'une codification, la forme des pièces produites et ne créer, si possible, que des pièces semblables à celles déjà existantes. Les dessins doivent être numérisés (D.A.O.).
- Le bureau des méthodes doit maîtriser les processus de fabrication, connaître les temps de fabrication, le planning de charge des machines, les outils, les outillages...

Gamme type ou gamme mère

C'est la liste ordonnée des phases des pièces appartenant à une même famille. L'ordre opératoire est optimisé, tous les degrés de complexité des pièces de la famille sont pris en compte globalement mais non analysés dans le détail.

Gamme spécifique

C'est la gamme détaillée d'une pièce.

REMARQUE :

Il y a une seule gamme type pour l'ensemble de toutes les pièces de la famille et chaque pièce a une gamme spécifique.

65.2 Établissement d'un système de production en îlots

- 1° Codifier morphologiquement les produits fabriqués (§ 65.4).
- 2° Classer les pièces en famille de pièces.
- 3° Dans une même famille de pièces déterminer les pièces significatives en fonction de critères de coût et de quantité (§ 65.5).
- 4° Schématiser l'implantation des îlots dans l'atelier. Indiquer le sens du flux de production des pièces depuis l'entrée jusqu'à la sortie.
- 5° Définir les cadences (§ 68).
- 6° Inventorier les moyens de fabrication disponibles.
- 7° Rédiger les gammes types.
- 8° Préciser le flux de production dans chaque îlot.
- 9° Chiffrer les temps des opérations des pièces significatives (études de phases avec simogramme § 19.31).
- 10° Analyser et traiter le chevauchement d'opérations.
- 11° Définir l'organisation de l'îlot de production.
- 12° Gérer le flux de production et faire le bilan.

65.3 Codification

À partir d'une base morphodimensionnelle et de ses spécifications, chaque pièce a un code.

Ce code permet un traitement aisé de ces pièces. Il est ainsi possible de les classer en familles, de les comparer, de déterminer les pièces significatives...

Cette classification est utile à tous les stades d'élaboration du produit :

■ Études produits

Réutilisation de pièces semblables, standardisation interne...

■ Méthodes

Réduction du nombre de gammes, chiffrage des temps et des coûts...

■ Production

Travail en îlots, optimisation des outillages et des outils.

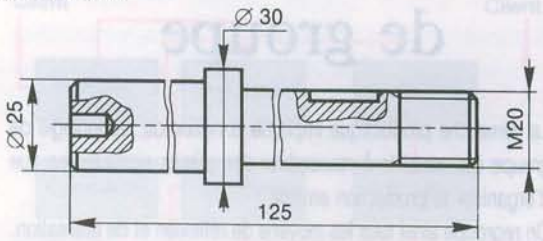
65■4 Exemple

L'exemple est relatif au système de codification CETIM-PMG. Nous traiterons partiellement le groupe 1 concernant les pièces de révolution.

Soit un arbre épaulé, appartenant à une famille de pièces (voir figure).

L'étude des treize tableaux des différents rangs, dont deux sont représentés ci-dessous, donne le code suivant :

DESSIN DE DÉFINITION PARTIEL
Arbre épaulé



CODIFICATION DE L'ARBRE ÉPAULÉ													
Rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Code	2	5	1	7	1	1	0	0	1	0	1	3	3

Brut laminé
XC 48
T. th. : trempe

Ra 3,2
Cadence 120 pièces/mois
pendant un an

ANALYSE DE LA CODIFICATION							
Rang	Titre du tableau	Élément spécifié	Code	Rang	Titre du tableau	Élément spécifié	Code
1	Morphologie générale	Rond - L/D > 4	2	8	Élément de forme type denture, cannelures...	Néant	0
2	Morphologie extérieure	Variant de façon quelconque	5	9	Matière	Acier non allié	1
3	Morphologie intérieure	Avec trou borgne	1	10	Présentation du brut	Barre ronde	0
4	Dimensions - Rapport L/D et D	L/D > 4 - D < 40	7	11	Traitements thermiques et de surface	Trempe de masse	1
5	Éléments de formes coaxiales	Filetage	1	12	Qualité dimensionnelle État de surface	L > 50 1,6 ≤ R _a ≤ 6,3	3
6	Élément de forme type rainure, plat...	Rainure extérieure	1	13	Quantité et cadence	Q ≥ 101 - C < 30 lots	3
7	Élément de forme type trous auxiliaires	Néant	0				

PIÈCES DE RÉVOLUTION				PIÈCES DE RÉVOLUTION			
Rang 1 — Morphologie générale				Rang 2 — Morphologie extérieure			
A section transversale maximale	Ronde	L/D ≤ 0,5		0	Un cylindre brut		
		0,5 < L/D ≤ 4		1	Un cylindre usiné		
	De non-révolution	L/D > 4		2	Deux cylindres		
		L/D ≤ 1,5		3	Variant dans un sens		
		L/D > 1,5		4	Variant de façon symétrique		
5	Multi-axiale (axes parallèles uniquement)			5	Variant de façon quelconque		
6	Segment			6	—		
7	Secteur circulaire			7	Filet de mouvement-cône; sphère		
8	—			8	Génératrice curviligne		
9	Autres			9	Autres		

65 ■ 5 Classement

Pour un îlot de production, il est important de classer les pièces fabriquées suivant leur nombre et leur valeur afin de connaître celles qui sont les plus significatives.

PRINCIPE :

Le classement A, B, C est fondé sur le principe de Pareto dit aussi des 80-20 :

- 20 % des pièces représentent 80 % de l'activité de l'îlot,
- 80 % des pièces représentent 20 % de l'activité de l'îlot.

REMARQUES :

- Le classement est d'autant plus important à effectuer que le nombre de pièces est élevé.
- Les applications sont relativement nombreuses, classement avant codification, analyse des pièces stockées, coûts, etc.

EXEMPLE :

On désire classer 10 pièces* appartenant à une même famille.

On connaît la quantité de chaque pièce et la valeur ajoutée en francs pour les diverses transformations réalisées dans l'îlot (pièces usinées).

Mode d'obtention de la courbe ABC

1° Pour chaque pièce, déterminer la valeur ajoutée en francs pour la série :

Pour la pièce n° 1, par exemple : $25 \times 50 = 1250$ F.

2° Reporter dans un tableau de classement ces valeurs ajoutées dans l'ordre décroissant.

3° Calculer les valeurs cumulées des valeurs ajoutées.

Pour la pièce n° 3, par exemple : $22500 + 10000 = 32500$.

4° Calculer les pourcentages des valeurs ajoutées.

Pour la pièce n° 3, par exemple : $\frac{32500}{40635} \times 100 = 80 \%$.

5° Tracer la courbe ABC en portant en abscisses les pourcentages de pièces et en ordonnées les pourcentages des valeurs cumulées.

Par exemple, pour la pièce n° 2, 30 % en abscisse et 84,9 % en ordonnée.

Analyse de la courbe

On remarque que les pièces 4 et 3 représentent 80 % de l'activité totale et 20 % du nombre de pièce, c'est la classe A.

L'ensemble des autres pièces ne représente que 20 % de l'activité de l'îlot.

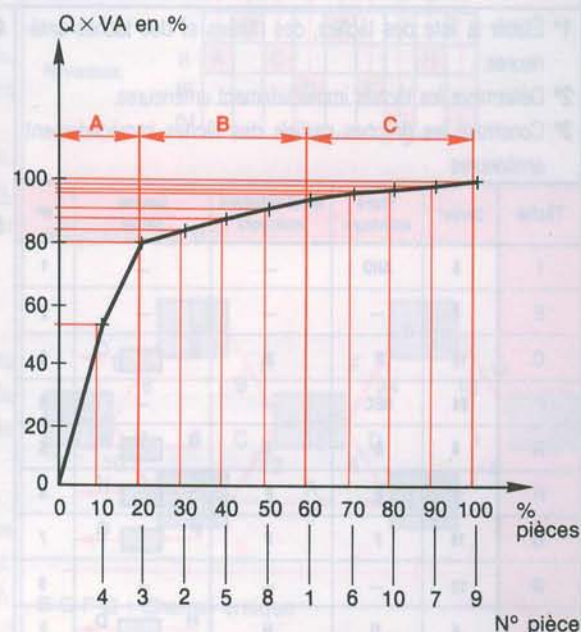
EXEMPLE

Pièce N°	Quantité (Q)	Valeur ajoutée (VA) en francs	Valeur ajoutée pour la série (Q × VA)
1	50	25	1250
2	20	50	2000
3	50	200	10000
4	90	250	22500
5	25	75	1875
6	20	35	700
7	15	18	270
8	100	15	1500
9	30	8	240
10	25	12	300

TABEAU DE CLASSEMENT

Pièce N°	Valeur ajoutée pour la série Q × VA	Q × VA cumulé	% (Q × VA) cumulé	% pièces cumulé
4	22500	22500	53,4 %	10 %
3	10000	32500	80 %	20 %
2	2000	34500	84,9 %	30 %
5	1875	36375	89,5 %	40 %
8	1500	37875	93,2 %	50 %
1	1250	39125	96,3 %	60 %
6	700	39825	98 %	70 %
10	300	40125	98,7 %	80 %
7	270	40395	99,4 %	90 %
9	240	40635	100 %	100 %

COURBE ABC



* Limité à 10 pour simplifier l'exemple.

66 P.E.R.T.

Le P.E.R.T. (*Program Evaluation and Review Technic*, que l'on peut traduire par « technique d'ordonnancement des tâches et de contrôle des programmes ») est une méthode d'organisation qui consiste à mettre en ordre, sous forme de réseau, les tâches qui par leur dépendance et leur chronologie concourent toutes à l'obtention d'un produit.

66 ■ 1 Conditions préalables

Pour établir un P.E.R.T., il faut connaître notamment :

- l'ensemble du projet,
- les différentes tâches ou opérations qui le composent,
- les durées correspondantes,
- les liens entre les différentes tâches.

66 ■ 2 Représentation graphique

■ Étape :

Une étape est le commencement ou la fin d'une tâche. Elle n'a pas de durée.

Elle peut être représentée par un cercle, un carré ou un rectangle (voir figure).

Chaque étape est numérotée.

■ Tâche :

Une tâche est le déroulement, dans le temps, d'une opération. Elle est représentée par un vecteur sur lequel est indiqué l'action à effectuer (tâche **A**) et son temps (**t**). Les tâches peuvent être successives, simultanées ou convergentes (voir figures).

REPRÉSENTATION D'UNE ÉTAPE	Tâches	Représentation graphique
	Successives	
REPRÉSENTATION D'UNE TÂCHE	Simultanées	
A : action t : durée 	Convergentes	

66 ■ 3 CONSTRUCTION D'UN RÉSEAU — Méthode des graphes partiels — Exemple

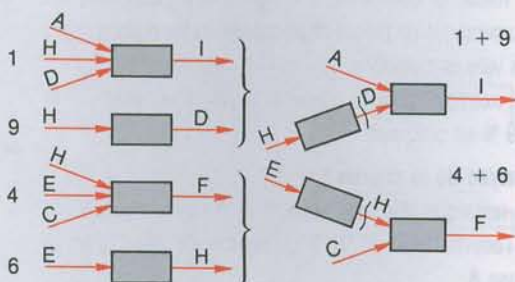
- 1° Établir la liste des tâches, des durées et des tâches antérieures.
- 2° Déterminer les tâches immédiatement antérieures.
- 3° Construire les graphes partiels des tâches immédiatement antérieures.

Tâche	Durée*	Tâche antérieure	Immédiatement antérieure	Graphe partiel	N°
I	5	AHD	—	—	1
E	8	—	—	—	2
C	12	B	B	B → C	3
F	24	HEC	—	—	4
A	8	B	B	B → A	5
H	9	E	E	E → H	6
G	18	F	F	F → G	7
B	10	—	—	—	8
D	4	H	H	H → D	9

- 4° Construire les graphes partiels des autres tâches supposées convergentes.



- 5° Lever les contradictions entre les graphes partiels simples et les graphes des tâches supposées convergentes.



* Préciser l'unité : jour, heure, centième d'heure, etc.

6° Regrouper les graphes.



7° Déterminer les tâches de début et de fin de l'ouvrage.

■ Les tâches de début sont celles qui n'ont pas de tâches antérieures (E et B).

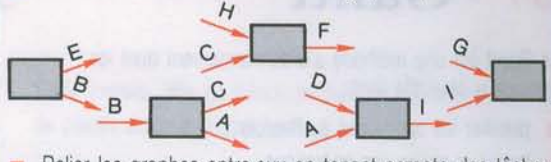
■ Les tâches de fin de réseau sont celles qui ne sont pas antérieures à d'autres tâches (I et G).

8° Construire le réseau.

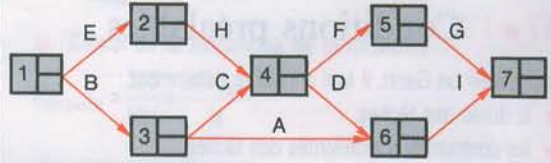
■ Tracer les tâches de début et de fin de l'ouvrage.



■ Placer entre ces tâches les autres graphes partiels.



■ Relier les graphes entre-eux en tenant compte des tâches immédiatement antérieures issues du tableau : E antérieur à H, H antérieur à D, F antérieur à G.



66 ■ 4 CONSTRUCTION D'UN RÉSEAU — Méthode des niveaux — Exemple

Le projet traité est le même que précédemment.

1° Remplir un tableau à deux entrées des tâches et des tâches antérieures (par exemple A, D et H sont antérieures à I).

■ Le niveau I correspond aux tâches sans antécédents (colonnes où ne figure pas de croix, B et E).

■ Le dernier niveau (IV) correspond aux tâches de fin de réseau (lignes où ne figure pas de croix, G et I).

■ Barrer dans le tableau les lignes B et E correspondant au niveau I. On crée ainsi les colonnes vides A, C et H qui définissent le niveau II.

2° Les niveaux ainsi définis indiquent les débuts des tâches correspondantes.

3° Construire le réseau P.E.R.T.

■ Déterminer les dates, au plus tôt, d'exécution des tâches. Additionner de gauche à droite les durées des tâches, les unes aux autres, en prenant la plus grande valeur.

Inscrire chaque valeur calculée dans la case supérieure droite.

■ Déterminer les dates, au plus tard, d'exécution des tâches. Soustraire de droite à gauche les durées des tâches, les unes aux autres, en prenant la plus petite valeur.

Inscrire chaque valeur calculée dans la case inférieure droite.

■ Calculer la valeur du flottement.

Pour une tâche donnée, par exemple E, soustraire la date au plus tard de la date au plus tôt ($13 - 8 = 5$ jours*, cela permet un retard éventuel de 5 jours dans la réalisation de la tâche).

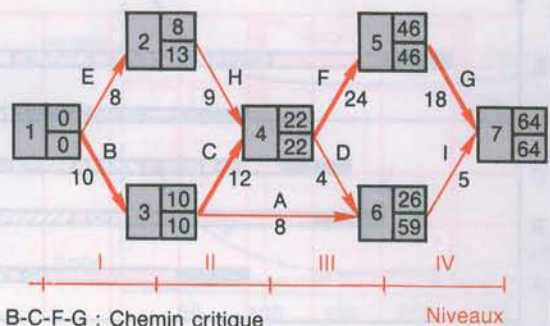
■ Définir le chemin critique.

Ce chemin est composé de tâches critiques, lesquelles ont une date de réalisation « au plus tôt » égale à la date au plus tard. Cela signifie qu'un retard sur une tâche entraîne une augmentation de la durée du projet.

TABLEAUX DES TÂCHES ET DES NIVEAUX

		Tâches										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I		
Tâches antérieures	A										X	II
	B	X										I
	C		X									II
	D						X					II
	E							X	X			I
	F								X			III
	G									X		III
	H										X	II
	I											
Niveaux	I		B			E						
	II	A		C					H			
	III				D		F					
	IV							G		I		

RÉSEAUX P.E.R.T.



B-C-F-G : Chemin critique

Niveaux

* L'unité choisie pourrait être différente.

67 Gantt

Le Gantt est une méthode d'ordonnancement dont les principaux objectifs sont :

- planifier les opérations à effectuer,
- lancer et suivre ces opérations,
- contrôler si l'exécution correspond à la planification.

67.1 Conditions préalables

Pour établir un Gantt, il faut connaître notamment :

- la durée des tâches,
- les contraintes d'antériorités des tâches,
- les délais à respecter,
- les charges des machines.

67.2 Représentation graphique

■ Jalonement au plus tôt

La matière où les pièces brutes étant disponibles, le début de la production s'effectue dès la réception de l'ordre de fabrication (O.F.).

■ Jalonement au plus tard

À partir de la phase terminale, on remonte dans le temps pour déterminer la date du début de production.

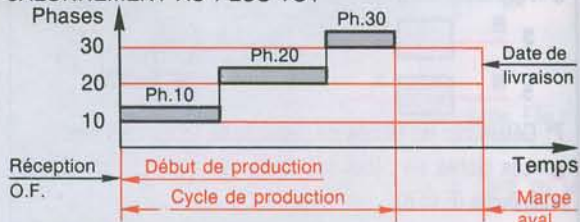
■ Marge

La marge est la différence entre le temps disponible avant la date de livraison et le temps de fabrication.

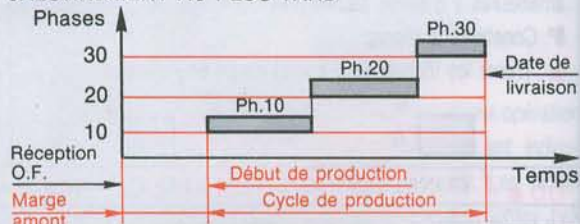
■ Chevauchement d'opérations

Un chevauchement d'opérations s'effectue pour réduire les délais de production.

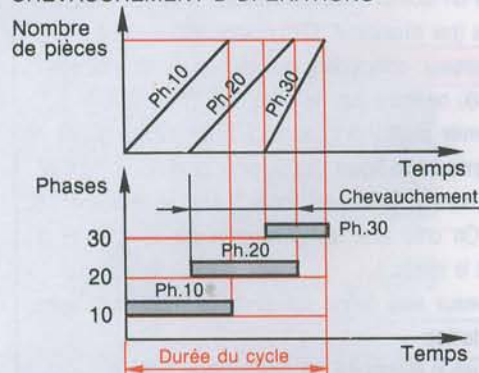
JALONNEMENT AU PLUS TÔT



JALONNEMENT AU PLUS TARD



CHEVAUCHEMENT D'OPÉRATIONS



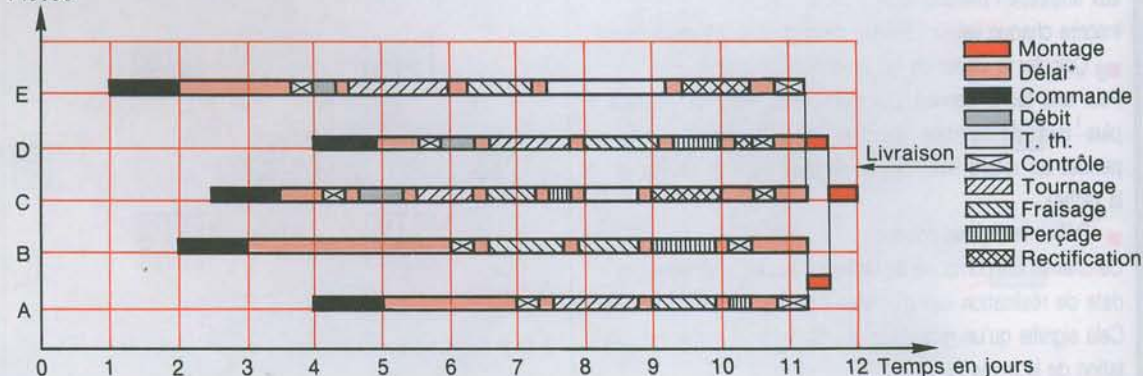
EXEMPLE DE DIAGRAMME DE GANTT (au plus tard)

Planning de fabrication et d'assemblage de 80 ensembles composés des pièces A, B, C, D, E.

NOTA :

Les chevauchements sont limités par le nombre de postes créant ainsi des temps d'attente (par exemple deux postes de contrôle).

Pièces



* Pour approvisionnement, équipement, attentes diverses.

68 Lot économique

Pour planifier la fabrication, il faut déterminer le nombre de pièces à lancer, c'est-à-dire la taille du lot ainsi que le nombre de lancements.

Si les lancements sont peu fréquents, cela nécessite un stock qui coûte cher, et si les lancements sont trop fréquents cela engendre des frais de lancement et des frais de changement de fabrication.

Il s'agit de déterminer une quantité économique à lancer qui minimise les coûts de stocks et les coûts de lancement.

■ Coût de stockage annuel (Csa)

$$Csa = Q/2 \times Pu \times t.$$

Q = nombre de pièces lancées périodiquement.

Q/2 = stock moyen (si la demande est régulière).

Pu = prix unitaire de la pièce.

t = taux de possession du stock en % (20 % < t < 35 %).

■ Coût de lancement annuel (Cla)

$$Cla = N/Q \times Cl$$

N = nombre de pièces lancées en une année.

Q = nombre de pièces lancées périodiquement.

N/Q = nombre de lancements.

Cl = coût unitaire d'un lancement.

■ Coût des pièces (Cp)

$$Cp = N \times Pu.$$

■ Coût total (Ct)

$$Ct = Csa + Cla + Cp.$$

■ Coût total le plus faible possible

$$\frac{dCt}{dQ} = \frac{Pu \times t}{2} + \left(-\frac{1}{Q^2} \times Cl \times N \right) = 0$$

$$\text{si } \frac{dCt}{dQ} = 0 \Rightarrow \frac{Pu \times t}{2} - \frac{Cl \times N}{Q^2} = 0$$

$$\frac{Pu \times t}{2} = \frac{Cl \times N}{Q^2}; \quad Q^2 = \frac{2Cl \times N}{Pu \times t}$$

$$Q_{eco} = \sqrt{\frac{2Cl \times N}{Pu \times t}}$$

Cette formule, dite de Wilson permet de déterminer le nombre de pièces du lot économique Q_{eco} .

■ Calcul du nombre de lancements annuel (Nla)

$$Nla = \frac{N}{Q_{eco}}$$

■ Calcul de la fréquence de lancements (F)

$$F_{\text{(en jours)}} = \frac{365}{Nla} = \frac{365 Q_{eco}}{N}$$

APPLICATION NUMÉRIQUE :

N = nombre de pièces lancées par an = 600.

Cl = coût unitaire d'un lancement = 540 F.

t = taux de possession du stock = 25 % = 0,25.

Pu = prix unitaire de la pièce = 100 F.

$$Q_{eco} = \sqrt{\frac{2Cl \times N}{Pu \times t}} = \sqrt{\frac{2 \times 540 \times 600}{100 \times 0,25}}$$

$Q_{eco} \approx 160$ pièces.

Nombre de lancements annuels :

$$Nla = \frac{N}{Q_{eco}} = \frac{600}{160} = 3,75 \Rightarrow Nla = 4 \text{ lancements annuels.}$$

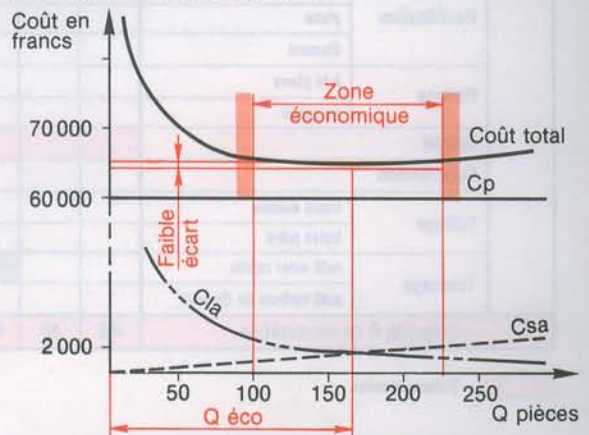
Fréquence de lancement :

$$F = \frac{365 Q_{eco}}{N} = \frac{365 \times 160}{600} \quad F = 97 \text{ jours.}$$

REMARQUE :

La gestion optimale doit tendre vers un « stock nul »*.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE



* Notamment par le système « S.M.E.D. » (Single Minute Exchange Die) : système de changement d'outils en un temps de minutes exprimé par un chiffre. Objectif quasi instantané.

69 Rugosité des surfaces

Rugosité R_a en micromètres		50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,20	0,10	0,05	0,025
RUGOSITÉ DE SURFACES BRUTES	Estampage												
	Forgeage												
	Grenaillage												
	Laminage	filage - extrusion à chaud											
		tréfilage - étirage à froid											
	Matriçage	à chaud											
		à froid											
	Moulage	au sable											
		cire perdue - procédé Schaw...											
		en coquille, par gravité											
en coquille, sous pression													
Sablage													
RUGOSITÉ DE SURFACES USINÉES	Alésage	outil acier rapide											
		outil carbure ou diamant											
		à alésoir											
	Brochage												
	Brunissage												
	Découpage (à la presse)												
	Découpage fin (à la presse)												
	Electro-érosion												
	Fraisage en bout	outil acier rapide											
		outil carbure											
	Fraisage en roulant	outil acier rapide											
		outil carburé											
	Galetage												
	Grattage												
	Limage (traits croisés ou parallèles)												
	Meulage	à main											
		au disque											
		électrolytique											
	Mortaisage												
	Oxycoupage												
	Perçage au foret												
	Polissage	mécanique											
		électrolytique											
	Rabotage												
	Rectification	cylindrique											
		plane											
		diamant											
	Rodage	à la pierre											
		au rodoir											
	Sciage												
	Superfinition												
	Taillage	fraise module											
		fraise mère											
	Tournage	outil acier rapide											
		outil carbure ou diamant											
	Rugosité R en micromètres		160	80	40	16	10	4	2	1	0,5	0,25	0,12

Valeurs usuelles

Valeurs exceptionnelles